



Christian Lévêque

Quelles rivières pour demain ?

Réflexions sur l'écologie
et la restauration des cours d'eau

éditions
Quæ

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

Table des matières

Couverture

Quelles rivières pour demain ? - Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau

Préface

En guise d'introduction

1 - Qu'est-ce qu'une rivière ?

Qu'est-ce qu'un cours d'eau ?

Qu'est-ce qu'une rivière ?

Qu'est-ce qu'un fleuve ?

D'où viennent les noms des rivières ?

Le fleuve de papier, ou la manière de peindre la rivière aux XVI^e et XVII^e siècles

Pour en savoir plus

2 - Le statut des rivières

Le pouvoir royal et la navigabilité des rivières

La Révolution et la question des cours d'eau non navigables

Les pollutions et la loi du 16 décembre 1964

L'hydrosystème et la loi du 3 janvier 1992

La Directive cadre sur l'eau (DCE) en 2000

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) de 2006

Pour en savoir plus

3 - Les rivières et notre imaginaire

La rivière : frontière ou trait d'union ?

Les cours d'eau, demeures des monstres et des divinités

Pour en savoir plus

4 - Un fleuve dans sa vallée : de l'écosystème au paysage

Un concept écologique structurant : l'hydrosystème

Un concept hybride : l'anthroposystème

La flèche du temps : des cours d'eau sur trajectoires

Le paysage fluvial : une approche transdisciplinaire

Pour en savoir plus

5 - Le travail de l'eau : quand le fleuve fait son lit

D'où vient l'eau des rivières

Des régimes hydrologiques sous influence climatique

Le cycle érosion-transport-sédimentation

La recherche du profil idéal et l'incision des cours d'eau

Le fleuve et les eaux souterraines

Pour en savoir plus

6 - L'habitat, un concept structurant et dynamique

Le concept d'« habitat temple »

L'habitat vu par les poissons

Échelles de temps, échelles d'espace

Un système fluvial structuré à l'échelle du bassin versant

Les microhabitats

Le corridor fluvial : zonations écologiques et continuum fluvial

Du lit mineur au lit majeur : interactions entre milieux aquatiques et milieux terrestres

Pour en savoir plus

7 - Une biodiversité « hybride »

Les mythes de la nature vierge et de l'équilibre

Composition et organisation des peuplements biologiques

La biodiversité a une histoire et un futur

L'influence anthropique

Richesse en espèces et fonctionnement des hydrosystèmes

Pour en savoir plus

8 - Le « bon état »... dans tous ses états

Le bon état des eaux selon la DCE : une approche normative

Le bon état écologique existe-t-il ?

Qu'en pense le citoyen ?

Un bref état des lieux

Intérêts et limites de la notion de bon état

Pour en savoir plus

9 - La multifonctionnalité des rivières

Les autoroutes fluviales

Le flottage du bois

L'énergie des rivières

La pêche professionnelle

Des usages récréatifs

Conséquences écologiques des
aménagements : le cas du Rhône

Pour en savoir plus

10 - L'eau qui fait peur : les risques d'inondations

L'aléa inondation

Aux origines des inondations

Les réponses techniques

La culture du risque inondation

Perception des inondations en Camargue : de la fatalité à l'État-providence

Les espaces forestiers jouent-ils un rôle dans l'atténuation des crues ?

Pour en savoir plus

11 - De la fragmentation des rivières à la reconquête de l'axe fluvial

Des barrages à n'en plus finir ?

Pourquoi construire des barrages ?

Les conséquences environnementales des barrages

L'effacement des barrages et la reconquête de l'axe fluvial : de la théorie à la pratique

Quelles perspectives ?

Pour en savoir plus

12 - La rivière aux poisons

Pollutions : de quoi parle-t-on ?

Il y a pollution et... pollution !

Brève histoire de la pollution des cours d'eau

L'approche normative de la pollution

Quatre grands défis scientifiques concernant les polluants chimiques dans les eaux

Les activités polluantes sont-elles le prix à payer au développement ?

Le nœud gordien de l'eutrophisation

Comment le grand public perçoit-il les pollutions chimiques ?

Conclusions

Pour en savoir plus

13 - Les cités redécouvrent leurs rivières

Les cours d'eau et le développement des cités européennes

Le XIX^e siècle et la chasse aux rivières urbaines

À la reconquête des cours d'eau urbains

Un peu d'oxygène pour les petites rivières urbaines

L'agglomération lyonnaise à la reconquête des fleuves : l'esprit plan Bleu, ou le mythe du consensus

Pour en savoir plus

14 - Restauration : recréer la nature ? Ou l'adapter à nos besoins ?

La nébuleuse de la restauration

Pourquoi restaurer ?

Comment restaurer ?

La compensation : retour au troc ?

Les citoyens, eux aussi, ont des attentes...

Pourquoi restaurer les lînes du Rhône ?

Que faire dans l'estuaire de la Seine ?

La naturalité des paysages : réalité ou artéfact ?

Le succès mitigé des opérations de restauration

Pour en savoir plus

15 - Des changements en perspective ? - Tendances, trajectoires, prospective...

Tendances en matière de précipitations et de débits

Tendances en matière de morphologie fluviale

Tendances en matière de température des eaux

Tendances en matière de qualité des eaux

Trajectoires des peuplements d'invertébrés benthiques

Trajectoires des peuplements de poissons

Un peu de prospective ?

Pour en savoir plus

Conclusions

Des concepts théoriques peu opérationnels

Quels objectifs se fixer pour la restauration ?

Retrouver de l'hétérogénéité et de la variabilité ?

Penser les trajectoires d'écosystèmes et le futur

Quelles rivières voulons-nous ?

Pour en savoir plus...

Quelles rivières pour demain ? Réflexions sur l'écologie et la restauration des cours d'eau

Christian Lévêque

© Éditions Quæ, 2016

ISBN 978-2-7592-2426-5

Éditions Quæ
RD 10
78026 Versailles Cedex



www.quae.com 



Pour toutes questions, remarques ou suggestions : quae-numerique@quae.fr 

Préface

« Quelles rivières pour demain ? » est un livre d'histoire ! Une histoire complexe et longue, celle des relations que l'homme a su établir avec les rivières, les milieux aquatiques, et les écosystèmes qui les habitent. Cette histoire nous est contée par quelqu'un qui, d'abord, manie très bien notre langue et sait expliquer avec précision, clarté et souvent humour, des concepts compliqués, ou décrire des milieux où se côtoient les principaux éléments qui nous entourent, la terre, l'eau (sans parler de l'air et du feu), mais en y ajoutant la vie, en une succession infinie de réactions et de rétroactions, naturelles ou engendrées par les aménagements construits par l'homme. Mais cet ouvrage n'a rien d'un traité d'hydrologie ou d'écologie des rivières, car le fil conducteur employé par Christian Lévêque est l'homme : l'évolution de la perception que celui-ci a d'un fleuve, et de l'utilisation qu'il en fait pour le transport, pour l'alimentation en eau et la pêche, pour la production d'énergie, pour se protéger contre ses crues ou ses périodes de sécheresse, de son rôle pour éliminer les déchets, de son rôle militaire dans la défense de la cité, et enfin du rôle de l'eau dans l'harmonie du paysage, du plaisir qu'a le citoyen à contempler, dessiner ou prendre en photo une rivière, qu'elle soit naturelle ou en partie aménagée. Il nous parle de la valeur patrimoniale d'une rivière, et finalement des messages symboliques que cet aspect esthétique nous apporte. Un citadin pressé, quand il longe une rivière ou la traverse sur un pont, est sensible, même inconsciemment, au calme et à la beauté de cette eau qui s'écoule, à laquelle il abandonne ainsi une partie de son stress. Christian Lévêque nous dit que les surfaces en eau exercent un fort pouvoir de fascination, que l'on a pu qualifier d'« attraction hypnotique ».

Il attache aussi beaucoup d'importance, à juste titre selon moi, à l'attente du citoyen devant la nature. Il se démarque ainsi, de façon affirmée, de ce qu'il appelle « les mouvements écologistes intégristes et militants », pour lesquels la nature existe de plein droit avant l'homme, et qui se fixent pour objectif, en matière de restauration, de retrouver l'état « naturel » du milieu (ce que les Anglais appellent la *pristine nature*) où l'influence de l'homme serait absente. Christian Lévêque se démarque, à double titre, de ce point de vue car, dit-il, cet état « naturel » n'existe plus, au moins dans les pays développés. Cette référence à l'état « pristine » ne saurait être un objectif à atteindre, l'homme ayant de tout temps aménagé son environnement et l'ayant fait évoluer dans un sens qu'il a jugé, à chaque époque, désirable. Mais surtout, pour Christian Lévêque, l'environnement est au service de l'humanité, et non l'inverse. C'est le citoyen qui doit définir les attentes de la société par rapport à l'état des milieux au sein desquels il vit. Je prendrai ici un exemple. J'étais en décembre dernier à Douai, à une réunion sur l'état des eaux et la protection de la ressource dans le bassin Artois-Picardie. S'agissant de l'aménagement des cours d'eau, il était question, pour revenir à la « nature », de faire détruire le long des cours d'eau toutes les cabanes de pêcheurs, les cahutes de détente au bord de l'eau, de déjeuners sur l'herbe, que des générations d'habitants avaient construites, de façon anarchique et inesthétique pour profiter à leur façon de cet environnement et de leur rivière. Si l'objectif que se fixe la société est celui d'une nature « pristine », bien sûr, brûlons les cabanes ! Si l'objectif est de préserver un paysage « esthétique » sur lequel les promeneurs huppés pourront retrouver les tableaux de Monet, oui, brûlons les cabanes ! Mais est-ce bien là l'objectif de tous ? Il faut méditer sur le cas de Beauduc^[1], en Camargue, où lesdites cabanes sont passées, dans les années 2000, sur le bûcher de la protection de l'environnement... À tort ou à raison, selon les points de vue, mais les amoureux de Beauduc en pleurent encore. De même qu'aujourd'hui on incite les habitants des villes à reconstruire et cultiver des « jardins ouvriers » sur les espaces publics, au lieu d'y aménager des jardins « à la française », ne faut-il pas laisser aux habitants leur mot à dire sur la « nature » qu'à coup de deniers publics on va leur restaurer ? Bien sûr, tout ne peut être

accepté, il est probable que des compromis, des zonages, des objectifs partagés doivent être définis, mais dans ce livre le message de Christian Lévêque est bien celui-là : c'est pour l'homme, pour le citoyen, pour nos contemporains et ceux qui viendront après nous que doit être protégé, restauré, mis en valeur, l'environnement, pas pour satisfaire à des principes d'écologie théorique...

Un autre message fort de ce livre est l'évolution permanente des milieux. Christian Lévêque s'inscrit résolument contre le principe que l'état « naturel » de l'environnement est d'être à l'équilibre, stable, immuable, ce qu'en écologie on appelait autrefois le « climax ». Cette notion est aujourd'hui en très grande partie abandonnée, mais Christian Lévêque plante habilement les derniers clous dans son cercueil ! Il explique et démontre que les milieux naturels ou anthropisés suivent tous de longues « trajectoires » d'évolution, sur des échelles annuelles, décennales ou centennales, qui intègrent les influences des événements passés (par exemple celles de la dernière déglaciation, depuis six mille ans, qui a toujours des effets actuels), ou celles d'usages nouveaux des milieux, celles d'introduction d'espèces nouvelles, voulues ou non voulues, celles de l'évolution naturelle par mutation et sélection des espèces, ou celles des fluctuations à venir du climat. Pour donner un exemple, nous avons en 2013, Christian Lévêque, dix autres collègues et moi-même, travaillé, à la demande de l'État, sur la compensation des zones humides qui seraient détruites par la construction éventuelle de l'aéroport de Notre-Dame-des-Landes, dans la Loire-Atlantique. Au cours d'une des premières réunions, Christian Lévêque a posé cette question, que nous avons prise initialement pour une boutade : « Si, comme nous l'explique l'étude Explore 2070 du ministère chargé de l'Environnement, l'évolution du climat en France devait conduire à une réduction importante des précipitations, et si, de ce fait, les actuelles zones humides de Notre-Dame-des-Landes devaient se trouver "naturellement" desséchées, y a-t-il un sens et une justification économique à vouloir restaurer ailleurs et maintenir humides des zones nouvelles pour recréer à tout prix l'existant ? » Bien sûr, l'exemple est excessif, mais il nous force à prendre en compte le fait que l'environnement évolue, quoi que l'on fasse, et

que vouloir rétablir une nature « pristine » et invariable dans le temps est un objectif qui ne peut être valablement défendu.

Une autre caractéristique de cette réflexion sur les cours d'eau est l'approche systémique (ou encore pluridisciplinaire) que Christian Lévêque prône, dans la droite ligne des programmes CNRS-Piren et des zones ateliers qu'il a fortement contribué à faire émerger. Cette démarche se démarque des actions trop souvent sectorielles qui avaient longtemps été la règle pour analyser les écosystèmes. La démarche systémique vise au contraire à comprendre et à formaliser les interactions entre les divers usages de l'eau par les sociétés humaines, les besoins de la nature et de la biodiversité, les comportements sociaux et les facteurs économiques. C'est un paradigme qui reformule la manière dont les hommes interagissent avec la nature, et qui débouche naturellement vers le développement durable et la recherche de compromis entre les besoins des sociétés humaines et la pérennisation des ressources. Elle correspond au concept d'écologie systémique – très différente de la biologie des populations – que nous avons bien du mal à faire émerger en France.

Je dirai pour conclure que les quinze chapitres de cet ouvrage sont de nature encyclopédique : tout ce que chacun d'entre nous souhaite connaître sur les rivières et les écosystèmes aquatiques est abordé. Ainsi on trouve dans cet ouvrage : qu'est-ce qu'une rivière, son statut, les mythes et symboles qui l'entourent, sa vallée et la façon dont se forment son lit, sa biodiversité et ses habitats, sa multifonctionnalité, sa fragmentation par les barrages et seuils, ses poissons, son eutrophisation, ses débordements et les inondations qu'elle engendre, la Directive cadre sur l'eau de 2000 et le « bon état écologique des masses d'eau », la rivière et la ville, chapitre que j'ai trouvé particulièrement passionnant, les paysages aquatiques, la valeur patrimoniale et esthétique des cours d'eau, la restauration des écosystèmes dégradés, les changements climatiques et environnementaux, et enfin la gestion des rivières, sans oublier à tout instant les principes du droit. Chacun de ces chapitres se lit avec émerveillement, devant la richesse du contenu, la place

donnée à l'histoire, l'équilibre réussi entre la description des mécanismes physiques, chimiques et biologiques, et celle des résultats de l'action de l'homme. Les enseignements qu'apporte cet ouvrage permettront de guider les actions à mener aujourd'hui pour préserver ou améliorer les trajectoires d'évolution de ces systèmes si changeants, si importants pour l'homme, si fragiles et si beaux...

Personne mieux que Christian Lévêque n'aurait pu écrire un livre aussi riche. C'est sa longue expérience de l'étude de ces milieux sur le terrain, d'abord en Afrique, puis en France et dans le monde, ainsi que ses très nombreuses lectures, qui lui ont donné le matériel de base de cet ouvrage. S'y ajoute son expérience de chercheur, d'abord à l'Orstom (devenu IRD) puis au CNRS, et de responsable de très nombreux programmes de recherche ou d'institutions scientifiques, qui lui a donné le goût de la synthèse et la connaissance de l'implication que doit prendre le chercheur dans la gouvernance de ces systèmes complexes.

Une belle réussite !

*Ghislain de Marsily,
professeur émérite à l'université Pierre et Marie
Curie et membre de l'Académie des sciences*

¹Mathieu C., *Les années Beauduc*, A. Bizalion éditeur, 2014.

En guise d'introduction

« Tour à tour capable de féconder sa vallée d'un riche limon, puis de la dévaster lors de ses crues, la Loire, comme le dieu Janus, offre à ses riverains un double visage. »

Paul Fénelon (1978)*

* Atlas et géographie des pays de la Loire, Flammarion, 1978.

L'écologie des écosystèmes d'eau courante est une discipline récente. Les eaux courantes étaient quasi absentes des travaux du Programme biologique international (1965-1972) qui, en son temps, a mobilisé une grande partie de la communauté des écologues travaillant sur les milieux aquatiques continentaux (ceux que l'on appelait aussi limnologues ou hydrobiologistes). L'essentiel des recherches concernait alors les lacs, d'un accès plus simple (tout est relatif...) en matière d'échantillonnage et de fonctionnement. Rappelons à ce propos que, depuis la fin du XIX^e siècle, les lacs étaient déjà considérés comme des écosystèmes, bien avant la récupération du concept par le botaniste Tansley (Lévêque, 2001)^[2]. À preuve, les travaux de l'Américain Forbes en 1887 sur un petit lac du Middle West et du Suisse Forell dans les années 1890 sur le lac Léman.

C'est à partir des années 1970, et surtout dans les années 1980, qu'on a vu se développer en Europe et en Amérique du Nord des travaux d'écologie systémique sur les écosystèmes d'eau courante. Il y avait eu auparavant, bien entendu, de nombreux travaux de taxonomie ou de biologie concernant les espèces aquatiques, notamment sur les poissons et les invertébrés, mais ces recherches

relevaient plutôt de la biologie des populations que de l'écologie systémique. Et ces travaux étaient le plus souvent menés de manière disciplinaire.

Ce n'est pas pour autant que les cours d'eau étaient ignorés par la communauté scientifique. Les géologues, les géomorphologues et surtout les hydrologues s'y intéressaient depuis bien plus longtemps. Il y avait de bonnes raisons à cela. D'une part, l'usage des fleuves pour la navigation et le calibrage des ouvrages d'art nécessitaient de mieux connaître les débits, les régimes hydrologiques et les transports sédimentaires ; d'autre part, les sociétés sont préoccupées de longue date par les divagations des lits des fleuves, notamment par les crues et les inondations. Ce sont donc surtout les ingénieurs qui avaient développé une culture technique sur les cours d'eau à des fins d'aménagement. Mais cette culture portait essentiellement sur la ressource en eau du point de vue quantitatif.

En France, l'écologie des cours d'eau ne prendra vraiment corps qu'au début des années 1980, lorsque le CNRS mettra en place, dans le cadre du Piren^[3], une série de programmes interdisciplinaires sur les grands fleuves : Piren Rhône, Piren Alsace, Piren Garonne, puis Piren Seine fin 1980. On doit au Piren Rhône, dans le milieu des années 1980, l'émergence du concept d'hydrosystème. Le cours d'eau n'est pas un simple canal d'écoulement des eaux. Il fonctionne aussi avec les nappes souterraines, qui l'alimentent en période d'étiage, et avec sa plaine alluviale, qui est indispensable à l'accomplissement du cycle biologique de nombreuses espèces en période de crue. Avec, en plus, une dimension temporelle : le système évolue dans le temps. Il faut souligner que ce concept d'hydrosystème, désormais banal, mais tout à fait nouveau pour l'époque, a servi de base à la loi sur l'eau de 1992, et plus généralement à celles qui suivirent. Il faut rappeler également que le concept d'hydrosystème est le produit d'une interaction entre des scientifiques issus de trois disciplines majeures dans le domaine : un géographe, un écologue et un hydrogéologue. En fournissant un cadre spatial d'organisation de l'habitat, le géographe a permis à l'écologue de comprendre

l'organisation et la structuration spatiale des peuplements aquatiques. Et l'hydrogéologue a tout à la fois formalisé le rôle des nappes alluviales dans la dynamique des fleuves et introduit la notion de variabilité temporelle et interannuelle dans le fonctionnement du système.

L'écologie fluviale va profiter de l'émergence de nouvelles préoccupations de la société : les conséquences de la pollution des eaux et des aménagements des cours d'eau. On privilégie alors les études d'impacts, reportant temporairement les remèdes à apporter. La pollution des rivières n'est pas un phénomène nouveau. Mais elle a longtemps été de nature organique. Ce qui change, dans les années 1960, c'est la variété et la quantité des produits chimiques synthétiques utilisés, dont certains ont une forte affinité pour l'eau. Lorsqu'on les retrouve dans les rivières et les nappes souterraines, on s'inquiète de leurs effets possibles sur la santé et sur les organismes aquatiques. On commence alors à s'intéresser aux indicateurs biotiques. En outre, une discipline nouvelle se développe : l'écotoxicologie qui, malheureusement, oubliera bien vite le préfixe « éco »... C'est l'aspect qualité des eaux qui prend maintenant la corde. En 1990, Lalonde, levant le tabou de la pollution agricole, va mettre le projecteur sur les questions relatives à la pollution des eaux courantes.

L'autre grand domaine de prédilection pour l'écologie fluviale des années 1980 est l'aménagement des fleuves. Une problématique pas vraiment nouvelle, mais comme on commence à mieux prendre en compte les organismes vivants, cela redonne un sens à l'étude des communautés et de leur habitat. D'autant que la construction de nouvelles usines hydroélectriques (CNR) et de centrales thermiques refroidies par l'eau des fleuves (EDF) est l'occasion de mettre en place des suivis à long terme. Ces travaux sur les peuplements s'élargiront assez vite aux questions d'habitats. Et là, on a besoin de travailler en multidisciplinaire ! Le programme Habitat-poissons du Piren, par exemple, va permettre de progresser dans cette démarche multidisciplinaire.

En 1992 c'est Rio, la biodiversité, et le développement durable ! À l'époque, on ne sait pas trop comment se positionner par rapport à la biodiversité. Mais on sent bien que la biologie a le vent en poupe... Et on voit poindre rapidement l'horizon 2000 et la Directive cadre sur l'eau (DCE). La biodiversité va devenir le juge de paix de la qualité des systèmes aquatiques. Une belle époque pour les indices biotiques... Mais Rio, c'est aussi le développement durable et la promotion de l'approche intégrée des écosystèmes. On prône l'interdisciplinarité et, dans ce domaine, les programmes Piren avaient déjà un temps d'avance. Le groupement d'intérêt public (GIP) Hydrosystèmes mis en place en 1992 avait également cette ambition, mais son existence fut un peu éphémère en raison de conflit d'intérêts et de pouvoir avec les géosciences...

À l'orée du ^{xxi}^e siècle, dans la mouvance de la DCE, on voit s'affirmer un nouveau mot d'ordre : la restauration. Le terrain avait été préparé par un grand programme « recréer la nature » ? L'homme peut-il recréer ce qu'il a détruit ? Vaste question qui suscita, elle aussi, beaucoup d'intérêt dans le domaine de l'écologie aquatique. Mais on s'est vite posé la question de savoir quels objectifs on se fixait en matière de restauration : quelles natures voulons-nous ? Il manquait de toute évidence une dimension humaine aux approches techniciennes et écologiques de la DCE et de l'écologie de la restauration.

Cette composante humaine, elle, apparaît dans la DCE sous le terme de gouvernance. Mais on peine à la mettre en œuvre. Et pourtant, coincée entre les techniciens productivistes, les écologues et les mouvements écologistes intégristes, la restauration devient un sujet de débat pour la société. Le citoyen n'a pas nécessairement les mêmes attentes que les écologistes militants ou les gestionnaires. Il est sensible à l'esthétisme des paysages, au côté patrimonial de sa rivière et, pourquoi pas, aux messages symboliques qu'il en reçoit.

L'histoire est loin d'être terminée. La perspective du changement climatique soulève de nouvelles interrogations. D'une part, elle nous

rappelle que les systèmes écologiques ne sont pas statiques mais évoluent sur une trajectoire spatiale et temporelle, ce qui met à mal la mythique croyance, encore largement partagée, de systèmes à l'équilibre. D'autre part, elle nous interroge sur le sens de nos activités de restauration actuelles. Seront-elles toujours pertinentes dans quelques décennies ?

J'ai eu la chance de vivre cette aventure intellectuelle de quelques décennies, et d'en être un des acteurs, au niveau français, au sein des programmes Piren grands fleuves, du GIP Hydrosystème, du département Eaux continentales de l'Orstom (maintenant IRD), du Programme environnement, vie et sociétés du CNRS (PEVS), du GIP Seine-Aval, et de diverses autres activités (Cemagref-Irstea, conseil scientifique des agences de l'eau Seine-Normandie et Rhône-Méditerranée, Académie d'agriculture, etc.). J'ai eu également la chance de participer à quelques grands programmes internationaux : Programme biologique international (1965-1972), programme Scope sur les zones humides, la conférence de Rio sur le développement durable en 1992, Global Biodiversity Assessment (1993-1995), Millenium Ecosystem Assessment (2001-2005). Plus récemment, j'ai été confronté à l'application de la DCE aux milieux fluviaux et estuariens, ainsi qu'aux questions relatives à leur restauration. Cet ensemble d'expériences m'a conduit à écrire cet ouvrage, qui n'est pas un manuel, mais un ensemble de réflexions sur la démarche systémique et sur les relations entre la recherche et les utilisateurs de la recherche, en mettant un peu plus l'accent sur un acteur muet de la gouvernance, le citoyen.

Je tiens à remercier ici tous ceux, ils sont nombreux et je ne les citerai pas de peur d'en oublier, que j'ai pu côtoyer à l'Orstom (époque révolue d'avant l'IRD), au Cemagref (ici aussi, Irstea a pris le relais), au CNRS et à l'Inra, dans le cadre du Piren grands fleuves, du GIP Hydrosystèmes, du programme Environnement, vie et sociétés, du GIP Seine-Aval et de l'Académie d'agriculture... C'est à leur contact que j'ai pu acquérir cet ensemble de connaissances sur les cours d'eau.

Je remercie particulièrement Ghislain de Marsily, qui m'a fait l'honneur et l'amitié de lire et de préfacer cet ouvrage.

²Lévêque C., *Écologie. De l'écosystème à la biosphère*, Masson Sciences, Dunod, 2001.

³Programme interdisciplinaire de recherches sur l'environnement.

Qu'est-ce qu'une rivière ?

« Quand on examine le globe terrestre, on y voit tout d'abord deux choses : la terre et l'eau ; et quand on voit la terre sillonnée dans tous les sens par une infinité de cours d'eau, on est naturellement conduit à rechercher l'origine de ces cours d'eau et le rôle qu'ils jouent dans l'histoire générale de notre globe : car tout est harmonie dans l'œuvre de Dieu. »

Charles-Auguste Millet (1871)

C'est évident mon cher Watson, tout le monde sait ce qu'est une rivière, un fleuve, ou un cours d'eau... Pourquoi une telle question ? Parce que les juristes sont parfois bien gênés pour trouver une définition qui permette d'asseoir l'élaboration des lois ou l'énoncé d'un jugement, quand il s'agit de dédommager les plaignants à la suite d'une pollution, par exemple. Alors...

Qu'est-ce qu'un cours d'eau ?

« Cours d'eau » semble avoir été, à l'origine, un terme technique, peu à peu imposé par les géologues et les géographes. Au début du XIX^e siècle, les dictionnaires définissent les cours d'eau (rivière, torrent...) par « eaux courantes ou courant d'eau ». Boiste (1823) donne comme définition de rivière : « eaux qui coulent dans un lit assez grand », de ruisseau : « petit courant d'eau », et de torrent : « courant d'eau impétueux ». « Fleuve » vient d'un radical latin qui veut dire « couler ». On le retrouve dans les termes « flot », « fluent », « refluer », etc. Ce radical désigne l'eau qui circule.

Définitions de cours d'eau

- « Terme général donné aux différents chenaux naturels (fleuve, rivière, ruisseau) », *Dictionnaire de l'eau* (Québec, 1981).

- « Chenal en surface ou souterrain, dans lequel l'eau peut circuler », *Dictionnaire de l'environnement - les termes normalisés* (Afnor, 1994).
- « Toutes eaux courantes qui s'écoulent entre des rives (ruisseaux, fleuves, canaux, etc.) », Trésor de la langue française informatisé.
- « On désigne par "cours d'eau" tout chenal superficiel ou souterrain dans lequel s'écoule un flux d'eau continu ou temporaire. Généralement, ce terme s'applique aux chenaux naturels. On emploie plutôt le terme "canal" pour désigner un chenal artificiel, en principe avec de longues lignes droites », Wikipedia (consulté le 13/11/2015).

En France, la qualification de cours d'eau donnée par la jurisprudence reposait essentiellement sur les deux critères suivants (circulaire du 02/03/2005 du Medde relative à la définition de la notion de cours d'eau) :

- « la présence et la permanence d'un lit naturel à l'origine, distinguant ainsi un cours d'eau d'un canal ou d'un fossé creusé par la main de l'homme » ;
- « la permanence d'un débit suffisant une majeure partie de l'année, apprécié au cas par cas, en fonction des données climatiques et hydrologiques locales et à partir de présomptions au nombre desquelles, par exemple, l'indication du "cours d'eau" sur une carte IGN ou la mention de sa dénomination sur le cadastre ».

La dernière définition en date est celle proposée par la loi biodiversité. Est désormais défini comme cours d'eau tout « écoulement d'eaux courantes dans un lit naturel à l'origine, alimenté par une source et présentant un débit suffisant une majeure partie de l'année ».

Le courant du cours d'eau... ou le cours d'eau courant

Le mot « courant », qui vient d'un verbe latin signifiant « courir », contient l'idée de déplacement. Le sens du courant est primordial pour l'orientation. C'est en général la direction vers un fleuve plus grand, puis vers la mer. Ça part des montagnes vers la mer. Finalement, les fleuves donnent le modèle de la circulation des peuples. À l'image des cours d'eau, la plupart des peuples - en tout cas en Asie et en Europe - sont partis de la montagne vers l'océan. Regardez les Celtes : ils sont originaires d'une région continentale et sont devenus une population maritime, ils ont donc bien suivi les fleuves. Certainement pour des questions de survie : quand les animaux avaient brouté toute la prairie, toute la steppe, il fallait repartir plus loin, jusqu'à être arrêtés par la mer.

Permettant les déplacements, le courant a rendu possibles les explorations. Très souvent, quand les navigateurs accostaient dans un nouvel endroit, ils remontaient le fleuve pour découvrir les pays. Par exemple, pour connaître l'Afrique, les explorateurs ont évidemment remonté le Congo. De prime abord, on ne remonte pas par la forêt ou par le désert : il y a trop de risques de se perdre ! L'Amérique a ainsi été inventoriée par les navigateurs italiens, portugais, espagnols, français à partir des fleuves (Alain Rey, 2010).

Différents types de cours d'eau... et de définitions

Selon techno-science.net  (consulté le 13/11/2015), il existe en réalité différents types de cours d'eau :

- « Ruisseau : petit cours d'eau, ni très large ni très long, alimenté par des sources d'eau naturelles ; souvent affluent d'un étang, d'un lac ou d'une rivière. C'est la taille plus que le débit qui fait la différence entre un ruisseau et une rivière. »
- « Ru, ruisselet : désigne un tout petit ruisseau, c'est-à-dire un cours d'eau de faible largeur (inférieure à 1 mètre), souvent en tête de bassin. »
- « Torrent : cours d'eau au débit rapide et irrégulier, situé sur une pente plus ou moins prononcée. Lors d'orages ou de pluies violentes, les torrents peuvent connaître des crues très brutales (rapides dans le temps) et très importantes (en volume). Plus généralement, on applique ce terme aux cours d'eau de montagne, au lit rocheux et encaissé, et ayant un débit rapide et pérenne. De nombreux torrents dans les Pyrénées portent le nom de "gaves" (Gave de Pau). Dans les Alpes, on les appelle des "nants" (Nant-Noir, Bon-Nant). »
- « Rivière : en hydrologie, ce terme désigne un cours d'eau moyennement important, à l'écoulement continu ou intermittent, suivant un tracé défini et se jetant dans un autre cours d'eau, un lac, une mer, une dépression ou un marais. En géographie physique, ce terme désigne un cours d'eau faiblement ou moyennement important, recevant de l'eau d'autres cours d'eau tributaires (les affluents) et se jetant dans un cours d'eau de plus grande importance. »
- « Ravine : désigne un cours d'eau des îles tropicales se jetant dans la mer et pouvant connaître des débits extrêmement importants à la suite de fortes pluies. Son lit peut être très large. »
- « Oued (*wadi*, *arroyo*) : terme d'origine arabe désignant un cours d'eau temporaire dans les régions arides ou semi-arides. Son écoulement dépend des précipitations. Il peut rester à sec pendant de très longues périodes. »

On distingue également :

- Bras : partie d'un cours d'eau reliant souvent deux entités hydrographiques (« bras principal ou secondaire », « bras mort », où l'eau ne circule plus).
- Delta : dépôt d'alluvions à l'embouchure d'un fleuve. Partie inférieure du cours d'un fleuve se jetant dans une mer, un océan ou un lac. Cône de sédiments où le fleuve se divise en plusieurs bras, la sédimentation d'alluvions y est supérieure à l'érosion marine.
- Estuaire : zone terminale du cours d'un fleuve, lorsqu'il se jette à la mer. L'estuaire est une zone de mélange des eaux douces et salées. Assez restreintes dans les mers aux marées faibles, les zones d'estuaire sont beaucoup plus

étendues là où les marées sont importantes, la zone d'eau saumâtre pouvant alors remonter de plusieurs dizaines de kilomètres en amont.

On peut encore raffiner en matière de sémantique :

- Cours d'eau souterrains : certains cours d'eau coulent en souterrain à travers des roches calcaires (karsts). En système karstique, un cours d'eau peut posséder des sections souterraines et d'autres en surface. Quand le flot émerge depuis l'intérieur vers la surface, c'est une résurgence ; quand il disparaît de la surface et s'enfonce vers un réseau souterrain, c'est une perte. On parle aussi de « doline » dans le Sud, ou de « bétoire » (petit aven) en Normandie pour des effondrements karstiques de surface par lesquels les écoulements de surface (continus ou temporaires) vont alimenter la nappe.

On trouve, dans le traité de limnologie de Bernard Dussart, une définition assez curieuse des cours d'eau : « Le limnologue considère les milieux lotiques comme la source d'éléments minéraux, organiques, vivants ou inertes, qui viennent se faire piéger dans les eaux dormantes lacustres. Il les considère également comme l'exutoire obligatoire de tout ce qui peut quitter la cuvette lacustre : eaux, matières en solution, en suspension, plancton, necton, déchets flottants, etc. Les eaux courantes sont à la fois les collecteurs des eaux naturelles se dirigeant vers un lac et les moyens d'évacuation du trop-plein de ces lacs. À ce titre, elles nous apparaissent comme des intermédiaires utiles entre le bassin de réception des eaux pluviales et précipitations de toute nature, et la mer. » (Dussart, 1966)

Ainsi, les cours d'eau ne seraient que de vulgaires canalisations dans lesquelles transitent l'eau et les éléments dissous ou en suspension ? On peut comprendre en partie cette rédaction si l'on se souvient que, dans les années 1950, l'écologie des cours d'eau était quasi inexistante, ces milieux étant jusque-là investis seulement par les ingénieurs hydrauliciens et les gestionnaires des pêches.

Qu'est-ce qu'une rivière ?

On ne saurait parler de rivière sans faire écho au petit ouvrage de Julian Rzoska, *On the Nature of Rivers*. Cet écologiste, qui fut l'une des chevilles ouvrières du Programme biologique international dans

les années 1960, avait déjà fait le rapport entre l'homme et la rivière :

« River drain parts of the earth's crust and in many cases are old features of the land. Geological and geomorphological events have shaped their courses and their present state can only be understood by their past. Similarly their characteristics are in closed and mutual interdependence with the land they traverse. Climatic conditions govern their water supply via tributaries from long distances. The water mass in rivers is in motion, unidirectional and sometimes of great force. Their outstanding function is the transport of water ; with changes of discharge and velocity of water movement they erode the land and carry sediment and bedloads are then deposited in downstream areas or are flown into the sea.

Rivers differ from standing waters not only in their continuous motion, but also in their longitudinal diversity ; turbulent rocky stretches may alternate with quiet parts. By scoring the riverbed they acquire mineral components, solids or solutions, from a wide range of their basin. As the shore line of rivers is relatively much greater than in lakes, the intimate connection between subsequent landscapes and river water is enhanced. Above all the medium, river water, is continuously passing away and this creates profoundly different conditions for life.

Piercing the land, rivers are communication channels for organisms which migrate and colonise. This applies also to man. He had to live near water and rivers gave more opportunity to travel and search. From the Paleolithic onwards man gathered on the Nile ; these loose gatherings evolved into a long sequence of civilizations. Modern man has interfered with rivers using them as waste disposal channels and the force of running water has been concentrated by dams. In fact few large rivers are still free flowing, natural phenomena. » (Julian Rzoska, 1978)

Il est souvent difficile de définir exactement l'origine d'un nom désignant un objet naturel. La rivière n'échappe pas à la règle. Il semble que le terme « rivière » vienne de l'ancien provençal *ribiera*. On retrouve la forme et le sens dans l'italien *riviera*, l'espagnol *rio* et l'anglais *river*.

Selon l'Encyclopédie scientifique en ligne, la rivière est un cours d'eau, c'est-à-dire un « chenal superficiel ou souterrain dans lequel

s'écoule un flux (du latin *fluxus*, écoulement) d'eau continu ou temporaire ».

Pour mediadico.com, la rivière est un « cours d'eau, navigable ou non, formé primitivement soit d'une source unique, soit par la réunion de ruisseaux ou de torrents, alimenté par une ou plusieurs autres rivières moins considérables, et qui se jette lui-même dans une rivière plus grande, dans un fleuve ou dans une mer ».

On pourrait multiplier les citations et les définitions, sans trouver ni de différences fondamentales, ni de consensus général.

Écoutons nos anciens ! Si une eau courante n'est pas assez forte pour porter de petits bateaux, on l'appelle en latin *rivus*, en français ordinairement ruisseau ; si elle est assez forte pour porter bateau, on l'appelle rivière, en latin *amnis* ; enfin, si elle peut porter de grands bateaux, on l'appelle en latin *flumen*, en français fleuve. La différence de ces dénominations n'est, comme l'on voit, que du plus au moins (d'après l'*Encyclopédie* de Diderot).

Qu'est-ce qu'un fleuve ?

Pour la plupart des géographes français, un fleuve est un cours d'eau qui se jette dans la mer quelle que soit son importance. Mais il existe des exceptions pour les cours d'eau se jetant dans les « mers intérieures » (Aral, Caspienne) ou dans les lacs endoréiques (le Chari dans le lac Tchad). Le terme « fleuve » n'a pas d'équivalent en anglais. « Un grand fleuve (pour les géographes de l'Antiquité) était une sorte de bras de mer. De même que la plupart des mers communiquent entre elles, les grands cours d'eau du continent devaient donc s'unir les uns aux autres. Tels étaient, selon la légende, les fleuves de l'Enfer. » (Grenier, 1934)

« La masse entière du fleuve n'est autre chose que l'ensemble de tous les ruisseaux, visibles ou invisibles, successivement engloutis ; c'est un ruisseau, agrandi des dizaines, des centaines ou des milliers de fois, et pourtant il diffère singulièrement par son aspect du

petit cours d'eau qui serpente dans les vallées latérales. Comme le faible tributaire qui mêle un humble courant à sa puissante masse, il peut avoir ses chutes et ses rapides, ses défilés et ses entonnoirs, ses bancs de cailloux, ses écueils et ses îlots, ses berges et ses falaises ; mais il est beaucoup moins varié que le ruisseau et les contrastes qu'il offre dans son régime son beaucoup moins saisissants. Plus grand, il nous étonne par le volume de ses eaux, par la force de son courant ; mais il reste uniforme et presque toujours semblable à lui-même dans sa majestueuse allure. » (Reclus, 1869)

Dans les cours de géographie, on nous apprend que le fleuve se distingue de la simple rivière par son débit, la longueur de son cours, le nombre de ses affluents. Le fleuve, c'est le roi des rivières, celle qui se jette à la mer. Mais nous abordons là des problèmes de préséance qu'il n'est pas toujours simple de résoudre. Ainsi, entre la Loire et l'Allier, qui est le fleuve ? Lequel se jette dans l'autre pour rejoindre la mer ? Il en va de la dignité de toute une région ! C'est la Loire qui remporta le match. « Le fleuve est l'époux, celui qui garde son nom et confère par là une dignité nouvelle au tout petit ruisseau qu'il était à sa source... Et l'Allier connut le destin des épouses. En mêlant ses eaux au cours d'eau qu'il rejoint dans son lit, l'affluent perd, en effet, son nom et parfois beaucoup de son identité. » (P. Barrier, 1989)

Si l'on appliquait à la lettre la définition des géographes, la Seine serait également une usurpatrice puisque c'est l'Yonne qui est le cours principal du bassin parisien. En effet, à leur confluent, à Montereau-Fault-Yonne, l'Yonne présente un débit et un bassin versant supérieurs à ceux de la Seine (respectivement 93 m³/s et près de 10 800 km² pour l'Yonne, et à peine 80 m³/s et 10 300 km² pour la Seine). La même situation se produit en amont avec l'Aube, dont le bassin versant est de 4 700 km², avec un débit de 41 m³/s, contre 4 000 km² et 33 m³/s pour la Seine.

Un autre problème de préséance se pose aussi parfois : quelle est la source du fleuve ? Ainsi lit-on dans un dictionnaire du XVIII^e siècle :

« Quoique la Seine soit la plus renommée des rivières de France, et que sa source soit près du chemin de Dijon à Paris par Châtillon, et par conséquent fort aisée à trouver, son origine a eu longtemps presque le même sort que celle du Nil. Pas un géographe, pas un historien ne l'a découverte. Tous ceux qui en ont fait mention l'ont placée où elle n'est pas, jusque-là même que, sur les lieux, chacun veut la mettre chez soi... la Seine prend donc sa source dans le lieu-dit Doui (doux) de la Seine ; c'est-à-dire source de la Seine. Ce lieu est à 50 pas du grand chemin de Dijon à Paris, et à une lieue et demie de Saint-Seine^[4]. »

Pour autant, la question n'est pas tranchée, car une multitude de filets d'eau descendent du mont Tasselot, modeste sommet du plateau de Langres, et se rejoignent pour donner naissance à la Seine. « À 80 pas de là, quatre fontaines y viennent fondre comme en droite ligne. Ensuite, jusqu'à Chanceaux, il y en a tant d'autres petites qu'il semble que la terre se saigne de toutes parts pour grossir la Seine », décrit J. Aubert. Le choix définitif fut donc marqué d'un signe distinctif : la statue de la Seine abritée dans une petite grotte sur le territoire de Saint-Germain-Source-Seine, sur un terrain acheté par la ville de Paris en 1932. « Ainsi, la Seine sourd d'un sol "de la Ville de Paris" », ajoute avec humour P. Barrier.

Un fleuve n'a pas une, mais une multitude de sources réparties dans tout le bassin versant. Et rien d'objectif ne permet de privilégier l'une plus que les autres. De même qu'est arbitraire le choix du cours d'eau qui se jette dans l'autre en amont : est-ce la Seine qui se jette dans l'Yonne ou l'Yonne dans la Seine ? (d'après « La Seine en équations », site Eaufrance).

Un peu d'érudition

En grec ancien, le fleuve se dit *potamos*. On retrouve cette racine dans :

- Hippopotame : le cheval du fleuve.
- Potamologie - du grec *logos* (le discours) : la science des fleuves.
- Potamobiologie : la biologie des fleuves.
- Mésopotamie - du grec *mesos* (milieu) : région du Moyen-Orient située entre le Tigre et l'Euphrate.
- Potamogeton (plantes aquatiques) ou potamot : de *potamos* et du latin *geiton* (voisin).

D'où viennent les noms des rivières ?

L'origine des toponymes est toujours difficile à établir car s'y mêlent l'historique et le légendaire. Il semblerait néanmoins que beaucoup de rivières françaises aient conservé les noms qu'elles avaient au moment de l'invasion des Gaulois.

Selon Alain Rey, les noms des fleuves proviennent de langues disparues, d'idiomes très anciens. Ils constituent probablement les seules traces des langues parlées avant l'arrivée des Celtes en Gaule, au v^e siècle avant notre ère. Les noms de fleuves sont peut-être plus déterminants que les noms de montagnes. Ces dernières sont des repères mais elles sont des obstacles à la communication. Il faut les contourner, par la vallée. Or la vallée est définie par le fleuve qui, lui, permet la communication. Blaise Pascal a d'ailleurs écrit : « Les rivières sont des chemins qui marchent. »

Quelques origines possibles de noms de rivières

- Loire viendrait du latin *liger*, provenant du celte *liga* (lie, boue, limon).
- Seine vient de *sequana*, de *sawk* (sacré) + *-onna* (source). C'est un peu la même origine pour la Saône qui, dans son cours inférieur, portait le nom de Saucona, *sawk* (sacré) + *onna* (rivière).
- Rhône vient du grec *rhodanos*, de *rho-* (couler) + *-danu* (hardi, fier).

Les racines ligures[5] ont donné :

- Cher : *Caris*, vient du ligure *kar* (rocher).
- Charente : *Carantona*, du ligure *kar* (rocher) + *-onna* (source).
- Garonne : *Garumna*, du ligure *kar* (rocher) + *-onna* (source).
- Var : du ligurien *ibar* (vallée).
- Tarn : *Tarnis* ou *Tanara*, des racines ligures *tan-* (falaise) + *-ar* (rivière).

Les racines celtes, quant à elles, sont à l'origine de :

- Creuse : *Croza*, mot celtique signifiant « creuse ».
- Dordogne : du celtique *dorunia*, féminin dérivé du celtique ancien *dubro* (eau). *Dorunia* vient probablement de *dora* (torrent).
- Durance : du celtique *dubro* (eau).
- Doubs : vient du celte *dub* (noir) ou alors *dubro* (eau)

Les sites de confluent (condate celtique ou confluentes latin) ont donné les noms de lieux : Condé, Cosne, Conflans, Coblenz, etc.

Les toponymes Brives, Briare, issus du celtique *Briva*, indiquent des passages d'eau par gué ou bac, ou des ponts.

Le fleuve de papier, ou la manière de peindre la rivière aux xvi^e et xvii^e siècles

Ce joli titre est emprunté à un article de Virginie Serna, duquel nous tirons de larges extraits. Vers la fin du xiii^e siècle, avec l'affirmation des droits régaliens, le roi était en charge de la gestion des cours d'eau. La circulation fluviale des marchandises était alors un rouage essentiel de l'économie. Ainsi, Philippe le Bel chargea ses conseillers d'étudier l'aménagement de la Seine jusqu'à Troyes – alors qu'elle n'était navigable que jusqu'à Nogent-sur-Seine – et de rendre également navigables les cours d'eau allant de la Seine à Provins. Les agents royaux devaient « s'informer plus à plein sur tout cela avec des honnêtes hommes de la région [...] statuer sur l'affaire et [...] ordonner ce qui [...] semblera aller dans le sens de l'utilité publique... ». Et le roi de préciser : « vous ferez faire et achever les travaux aux frais des villages, des monastères et des personnes de la région qui comprendront l'évidente utilité à tirer de ces travaux ». Le souverain intervenait au nom de l'utilité publique. L'aménagement de la rivière participait ainsi à la construction étatique, et l'autorité royale visait à assurer la régulation nécessaire aux transports.

L'aménagement de l'espace fluvial, l'équipement de ses berges en digues et en quais, de son lit en moulins et pêcheries furent, dès le Moyen Âge, l'objet d'enquêtes sur le terrain. Ces visites devaient permettre de mieux connaître l'état réel des voies navigables et de repérer les obstacles à la navigabilité, afin d'y remédier éventuellement. Les projets d'aménagement faisaient l'objet d'une véritable expertise, avec des « techniciens » ou « experts » qui visitaient la rivière. La visite, à pied en suivant le bord de berge ou en bateau au milieu du chenal, avait lieu de préférence durant les mois chauds, coïncidant avec les basses eaux qui laissaient apparaître les obstacles.

À partir de la fin du xvii^e siècle, les cartographes furent sollicités pour transcrire sur papier les nombreuses visites de rivière

ordonnées par le roi. Ils ont su rendre « à plat », sur papier, un espace fluvial révélant des rivières déjà fortement anthropisées, lieux d'enjeux économiques et politiques. Dans les miniatures du xv^e siècle, comme l'enluminure des *Très Riches Heures du duc de Berry*^[6], on retrouve souvent une certaine imagerie : « une eau verte ou bleue qui coule le long de berges épurées. Le débit y est calme, sans tourbillons, et semble sans danger pour le batelier. Cette eau est avant tout un élément du paysage ; elle porte des bateaux (nefs, barques à fond plat, arche de Noé) et abrite des poissons. Sur ses rives, on se livre à la chasse aux gibiers d'eau. C'est donc une eau habitée, productrice, nourricière, sur laquelle des hommes pêchent, ensemble ou solitaires, chassent, naviguent, se baignent, pratiquent les joutes nautiques. »

Si le dessin du fleuve et de ses sinuosités s'est ébauché rapidement sur le papier, en revanche le méandre, accompagné du tracé de ses courants, du phénomène d'érosion qui creuse ses berges, de ses points d'inversion, ne trouva son expression graphique que tardivement. La boucle de Saint-Maur fut représentée en 1674 pour la première fois sous une forme correcte avec la Carte particulière des environs de Paris par « Messieurs de l'Académie royale des sciences ».

Dès le xvi^e siècle, certaines infrastructures importantes de la rivière font l'objet de signalisations particulières sur les cartes. Les points de passage des cours d'eau sont ainsi rapidement apposés sur les cartes des fleuves.

En 1678, le « Prédicateur et Géographe ordinaire du Roy », P. Lubin, dans un ouvrage attentif à la définition des termes géographiques et sensible à la difficulté de représenter le fleuve, soulignait l'imprécision des géographes à désigner ne serait-ce que le sens du courant. Il recommandait aux cartographes l'utilisation d'un principe graphique simple, qui est justement celui de la flèche : « on ne peut faire connaître le cours qu'en gravant comme j'ai dit au milieu une flèche, dont l'empenne marque d'où elle vient, et le fer où elle va ». Le Père Lubin développe pour la première fois dans ce même

ouvrage la règle de l'attribution gauche et droite aux rives qui se situent à main droite ou à main gauche du batelier descendant la rivière, ce qui simplifie la lecture de la rivière.

Au cours du xvii^e siècle, des règles spécifiques à la cartographie des cours d'eau, c'est-à-dire la manière de les dessiner, l'indication de leurs équipements et la couleur de leurs eaux, se mettent véritablement en place. « La grande innovation résidait, pour la cartographie des rivières, dans l'apposition, sur le tracé du fleuve, des équipements de la rivière par des signes conventionnels. La rivière y était représentée comme un lieu de production d'énergie (moulins), accueillant des structures en long et en travers (ponts, gués, bacs), tous ces équipements étant intimement liés à la rivière. C'est la fonction utilitaire de la rivière qui était clairement distinguée » (Serna, 1999). Ainsi, la carte formalisait les projets d'aménagement hydraulique et avait pour objet de seconder les interventions techniques des ingénieurs, qui avaient pour mission de corriger, rectifier, redresser le fleuve désordonné. « On passe ainsi, grâce à la carte, de la rivière-paysage à la rivière-machine. À regarder l'utilisation des équipements de la rivière, à réfléchir sur les corrections apportées par les ingénieurs sur le corps hydrique, on voit aisément que domine un modèle actif de l'aménagement hydraulique. La science hydraulique devient un élément de l'ordre moral qui doit remettre dans le droit chemin une nature désordonnée, trop libre, et doit lui appliquer un certain nombre de corrections, voire une véritable médecine » (Serna, 1999).

Quand se constitue la topographie, dans la seconde moitié du xviii^e siècle, le fleuve prend place au sein des cartes. Les cartes fluviales, vers la fin du xviii^e siècle, révéleront le tracé des berges, les contours des îles, leur flore, le nombre de roues attenantes aux moulins, voire la géométrie des installations de pêche en milieu de lit. Le chenal de navigation indiqué, des profils transversaux tracés en marge de la carte sont autant de données nouvelles qui traduisent la conviction profonde que la rivière est un espace économique vital, dont la représentation doit viser l'exactitude et la précision.

Pour en savoir plus

Barrier P., 1989. *La mémoire des fleuves de France*. Plon, coll. Terres de France.

Dussart B., 1966. *Limnologie. L'étude des eaux continentales*. Gauthier-Villars.

Grenier A., 1934. *Manuel d'archéologie préhistorique, celtique et gallo-romaine*. Éditions A. Picard.

Millet C.-A., 1871. *Les Merveilles des fleuves et des ruisseaux*. Hachette & Cie, coll. Bibliothèque des merveilles.

Reclus É., 1869. *Histoire d'un ruisseau*. Hetzel.

Rey A., 2010. La montagne c'est le territoire des dieux, le fleuve celui des hommes.
www.lemonde.fr/voyage/article/2010/04/22/entretien-avec-alain-rey-la-montagne-c-est-le-territoire-des-dieux-le-fleuve-celui-des-hommes-rdquo_1339771_3546.html (consulté le 13/11/2015).

Rzoska J., 1978. *On the Nature of Rivers, with Case Stories of Nile, Zaire and Amazon*. Springer.

Serna V., 1999. Le fleuve de papier. Visites de rivière et cartographies de fleuve (xiii^e-xviii^e siècles). *Médiévales*, n° 36, p. 31-41. http://www.persee.fr/doc/medi_0751-2708_1999_num_18_36_1444 (consulté le 13/11/2015)

⁴Cité par Jean Aubert dans *La Vie des bords de Seine*, Horvath, 1986.

⁵Les Ligures, peuple proto-historique européen.

⁶Manuscrit (1413) enluminé par les frères Limbourg. Cf. fac-similé, Draeger, Paris, 1978.

2

Le statut des rivières

« La montagne est sacrée dans la mesure où elle n'est pas habitée, c'est le territoire des dieux ; le fleuve est le territoire des hommes, c'est lui qui rend la vie possible. »

Alain Rey (2010)

Les Romains désignaient l'eau par l'expression *res communis*, « chose commune ». La loi du 3 janvier 1992, avec l'article L. 210-1 du code de l'environnement, a également donné à l'eau le statut de *res communis* : « L'eau fait partie du patrimoine commun de la nation. Sa protection, sa mise en valeur et le développement de la ressource utilisable, dans le respect des équilibres naturels, sont d'intérêt général. L'usage de l'eau appartient à tous dans le cadre des lois et règlements ainsi que des droits antérieurement établis. » Cependant, les berges, voire les lits, peuvent avoir un ou plusieurs propriétaires.

Le pouvoir royal et la navigabilité des rivières

À l'époque carolingienne, les rivières et les ponts, au même titre que les chemins, étaient sous le contrôle des comtes, chargés de les administrer et de punir les délits qui pouvaient être commis. Le contrôle de la rivière s'exerçait alors sur les usages : la navigation, le flottage du bois, l'installation des moulins, etc. Or les moulins à eau, qui participent à « la révolution technologique médiévale », sont fort nombreux dès le XI^e siècle. Le seigneur les fait installer sur la rivière qui coule en son fief et il impose aux habitants le ban du moulin, un monopole qui lui permet d'obliger la population du fief à moudre son grain dans le moulin « banal », contre redevance. Progressivement on en viendra à dire que la rivière qui coule dans un fief appartient

au seigneur du fief. Toutefois, les riverains revendiquent des franchises, et réclament le libre accès à l'eau. Dans certains endroits, des paysans avaient obtenu une franchise et des libertés, dont celle de creuser un puits. Dès le ^{xiii}^e siècle, les moulins ont été concédés, des droits de pêche reconnus.

La mise en place de l'administration des Eaux et Forêts, sous la dynastie des Capétiens, est concomitante de la période d'accroissement du domaine royal, encore relativement restreint pendant le Moyen Âge. En 1575, l'ensemble du personnel de l'administration des Eaux et Forêts représente plus de six cents officiers royaux dirigés par six grands maîtres, ce qui permet un bon quadrillage du royaume. Les fonctions confiées aux officiers des Eaux et Forêts concernent la gestion des bois et des rivières, c'est-à-dire la surveillance de l'usage qui en est fait, la répression des délits (notamment de chasse et de pêche) et, de façon plus générale, l'application des ordonnances royales (Dana, 2009).

Les mesures royales concernant les cours d'eau durant le ^{xvi}^e siècle sont relativement peu nombreuses. L'ordonnance de mars 1516 est remarquable par ses quatre articles réglementant la pêche. L'objectif de ce texte est de lutter contre les « pilleries, larrecins et abus qui se font aux eaues et forests de nostre royaume, au grand dégast et destruction d'icelles ». La première mesure est la proscription de tout un type de matériel de pêche, présenté comme responsable du fait que les rivières « soient aujourd'hui comme sans fruit ». Par exemple, cette ordonnance réglemente la taille des mailles des filets de pêche ; ceux-ci sont autorisés si, dans chaque maille, l'on peut « boutter les doigts jusques au gras de la main ». De plus, un poids minimum par espèce de poissons est fixé. Enfin, pour assurer le repeuplement des rivières (eh oui, déjà !), il est interdit de pêcher « de mi-mars jusques à mi-may, car les poissons frayent en iceluy temps ».

Cette ordonnance sur la pêche mise à part, les autres décisions royales au sujet des cours d'eau sont toutes liées à la navigation. Tout d'abord, l'édit de mai 1520, qui ne concerne que la Seine et ses

affluents, préconise de défricher les berges des rivières (probablement pour éviter toute gêne aux bateaux) et interdit d'y faire des « édifices ni autres choses quelconques empeschant le navigage ». La plupart des décisions royales visent alors à limiter les structures qui peuvent gêner la navigation.

Jean Bouteiller, conseiller au Parlement de Paris à la fin du ^{xiv}^e siècle, est l'un des premiers à esquisser une définition juridique et une catégorisation des cours d'eau. Il s'intéresse à la juridiction des « rivières courans parmy la terre d'aucun seigneur » et distingue, dans un premier temps, les « grosses rivières » qui « sont au Roy nostre Sire » telles que la Seine, l'Oise ou encore la Somme. Il ajoute aussitôt qu'aux seigneurs « parmy la terre desquels les rivières passent, leurs terres et seigneuries vont jusques en l'eauë ». En d'autres termes, les grandes rivières appartiennent au roi alors que les rives relèvent des possessions seigneuriales. Aux « grosses rivières », Jean Bouteiller oppose, de façon logique, les « petites rivières », ces dernières mesurant en moyenne sept pieds^[7] de large contre quatorze pieds pour les grandes. En complément il précise que ces cours d'eau « ne portent point de navire ». Le critère principal de différenciation est donc la navigabilité de la rivière.

L'ouvrage imprimé de Jean Bouteiller est l'édition de 1603 d'un manuscrit réalisé deux siècles auparavant, annoté et réactualisée par le jurisconsulte Loys Charondas Le Caron (1534-1613). Il confirme la distinction entre rivières royales et seigneuriales selon la possibilité ou non de naviguer. Il ajoute néanmoins que les rivières que les « seigneurs prétendent à eux, à cause de leur seigneurie » ne leur sont dues que par la « concession des Roys ». Il ajoute ensuite que « par le droict commun du Royaume, tous fleuves navigables sont reputez estre du domaine du Roy, et lui appartenir à cause de sa couronne ». La définition est, cette fois, plus précise : toutes les rivières navigables appartiennent à la Couronne et les différents seigneurs qui en possèdent sont redevables à leur souverain. Il ajoute que les « isles, iaveaux, atterrissemens et establissemens estans esdicts fleuves et rivières navigables et publics » appartiennent au roi.

Cardin Le Bret (1632), quant à lui, considère que « ce n'est pas sans raison que les fleuves et rivières navigables ont mérité d'être mises en la particulière protection des Roys : car c'est par leur moyen que les Provinces se communiquent les unes aux autres les biens qu'ils recueillent ». Il met ici en avant le rôle fondamental de la navigation fluviale comme moyen de communication et de transport des marchandises. Par exemple, il est possible de faire transiter des produits de la façade atlantique à la Méditerranée par voie d'eau, presque sans interruption. Les biens sont transportés sur la Loire jusqu'à la ville de Roanne, où ils sont déchargés puis amenés par voie de terre dans les environs de Villefranche-sur-Saône. Là, ils sont à nouveau placés dans des bateaux sur la Saône. Enfin, la rivière de Saône assure le relais des marchandises jusqu'à la mer Méditerranée par l'intermédiaire du Rhône. Un tel trajet, d'environ un millier de kilomètres, est tout à fait réalisable par voie d'eau avec seulement deux ruptures de charge et un trajet terrestre relativement court. Ce qui est vrai pour les marchandises l'est aussi pour l'artillerie, qui est aisément transportable en bateau. Pour assurer ce rôle de transport, le cours des rivières ne doit pas être entravé.

Cardin Le Bret rappelle également que les rivières sont un réservoir de ressources vivrières (poissons) et fournissent l'eau d'irrigation et la force motrice. Mais les moulins et les pêcheries ne peuvent pas se multiplier pour ne pas devenir préjudiciables à la circulation. Un particulier ne peut pas dévier le cours d'une rivière à son profit ni même en réaliser une dérivation partielle. Ce type de travaux relève de la juridiction royale. Cardin Le Bret considère également que seul le roi peut « lever des peages sur les fleuves : aussi pour ce sujet il est tenu de faire entretenir les ponts, les ports, les passages, et de rendre leur canal libre ». Il ajoute même que « les peages n'ont été établis que pour cette considération ». Une forme d'écotaxe en quelque sorte...

Ainsi, au ^{xvi}^e siècle, le roi de France est le seigneur des fleuves et rivières navigables de son royaume. Il dispose de différentes prérogatives sur ces rivières, telles que le droit de péage ou la réglementation de la pêche, et il s'approprie les îles et les rivages

des cours d'eau. Mais il a aussi le devoir de garantir la navigation sur les cours d'eau ! L'ordonnance de 1669, dite de Colbert, sur les eaux et forêts, consacre définitivement la domanialité des rivières navigables : « déclarons la propriété de tous les fleuves et rivières portant bateaux, de leurs fonds, artifices et ouvrages de mains dans notre royaume et terre de notre obéissance, faire partie du domaine de la couronne, sauf les droits de pêche, moulins, bacs et autres usages que les particuliers peuvent avoir par titre et possession valable auxquels ils sont maintenus ».

La Révolution et la question des cours d'eau non navigables

Les lois révolutionnaires avaient pour objectif de faire passer sous la souveraineté nationale tout ce qui relevait autrefois de la souveraineté monarchique. En supprimant le droit féodal, on espérait libérer la terre des tenanciers. Mais la réforme se révéla très compliquée. Les rivières non navigables, en particulier, posaient problème. Les seigneurs perdaient leurs droits féodaux, mais on ne savait pas trop au profit de qui... Pour certains, il s'agissait des communes, pour d'autres des communautés d'habitants ; d'autres encore mettaient en avant les droits des riverains. Devant les insuffisances de la législation, il revenait alors aux tribunaux de régler les conflits nés d'opposition entre la propriété et l'usage, un point particulièrement sensible dans la France rurale.

Des particuliers, de plus en plus nombreux, érigent de nouveaux moulins et réclament des droits sur l'eau. Le principe est alors que l'eau n'appartient à personne mais que son usage est commun. Les lois de 1790 et 1791 donnent pouvoir aux préfets, qui accordent l'autorisation réglementant le barrage, en fixent l'emplacement ainsi que le niveau légal de la retenue. Ce dernier est la hauteur à laquelle l'usinier doit maintenir les eaux en temps ordinaire et les ramener, autant que possible, en temps de crue. Cette surélévation ne doit ni gêner le moulin supérieur, ni endommager les rives en amont. Mais le meunier a toujours tendance à maintenir le niveau

des eaux le plus haut possible, ce qui provoque de nombreuses protestations des riverains.

C'est en 1865 que l'on assiste à un premier classement de cours d'eau soumis à obligation d'échelles à poissons, sorte d'escalier destiné à permettre aux poissons migrateurs de remonter les cours d'eau pour frayer. Cette mesure fut prise (déjà) pour lutter contre la disparition du poisson, qui était une ressource importante pour l'alimentation des populations rurales. Les rédacteurs avaient bien conscience qu'il fallait apporter quelques retouches au code civil et qu'il fallait aborder véritablement la question des petites rivières laissées jusque-là à l'appréciation des tribunaux. La loi du 8 avril 1898 apporte quelques modifications. Sur les rivières navigables et/ou flottables devenues « domaniales », ne peuvent s'exercer que les usages soumis à autorisation. Le véritable apport nouveau de la loi concerne les rivières « non domaniales », pour lesquelles le législateur entend dissocier le lit de la rivière qui appartient désormais au riverain, et l'eau qui n'appartient à personne et sur laquelle peuvent s'exercer des droits d'usage.

Les pollutions et la loi du 16 décembre 1964

Au lendemain de la Seconde Guerre mondiale, la législation n'est manifestement plus adaptée aux besoins : urbanisation croissante, développement de l'industrialisation et de l'agriculture intensive. Et, point important, la pollution est maintenant devenue un sujet de préoccupation majeur. En 1959, le Premier ministre crée une « Commission de l'eau » au niveau du Commissariat général du Plan, dont le rapporteur général est Ivan Cheret. Celui-ci sera l'initiateur de la loi du 16 décembre 1964, qui constitue la première grande loi française sur l'eau, marquée par l'émergence des préoccupations environnementales. Le premier article de la loi fixe les objectifs qui consistent à lutter contre la pollution pour satisfaire ou concilier les exigences de l'alimentation en eau potable et la santé publique, mais aussi les exigences de la vie biologique du milieu récepteur et spécialement de la faune piscicole.

En 1964, la loi a abandonné le critère de navigabilité en ne retenant que la distinction administrative : rivière domaniale ou non domaniale, une distinction qui détermine les droits et devoirs des propriétaires, locataires et usagers de l'eau.

Les cours d'eau domaniaux sont ceux qui appartiennent à l'État, aux collectivités territoriales ou à leurs groupements. En application de l'article 538 du code civil, les eaux courantes domaniales, naguère appelées « eaux navigables et flottables », appartiennent au domaine public ainsi que leur lit, tandis que les berges sont laissées à l'appropriation des riverains, mais sont soumises à des servitudes, notamment de halage, de marchepied et d'élagage, décrites à l'article L. 3131-2 du CG3P. Le domaine public correspond au lit mineur du cours d'eau qui s'arrête au niveau le plus haut que peut atteindre l'eau avant débordement. C'est donc la rive la plus basse qui fixe la limite de propriété (règle dite du plenissimum flumen). La gestion de certaines voies navigables du domaine public est confiée à l'établissement public « Voies navigables de France » créé en 1991. La navigation est libre, dans le respect de la réglementation.

Les cours d'eau non domaniaux (rivières et ruisseaux) sont les cours d'eau non flottables et non navigables de l'ancienne réglementation. Ils sont régis par le droit privé. Seuls les fonds et les berges appartiennent aux propriétaires, qui peuvent en interdire l'accès à autrui, ainsi que la circulation. Mais l'eau fait toujours partie du domaine public, les propriétaires ne pouvant pas diminuer le débit de la rivière au-dessous d'un certain seuil. En cas de dérivation, le débit doit rester suffisant pour assurer la conservation et la diversité du milieu aquatique. L'accès aux berges est interdit sans l'autorisation des propriétaires.

Les rivières de 1^{re} et 2^e catégories

Les rivières peuvent être classées au regard de la qualité de leur eau ou de leur faune. Ce classement permet de distinguer les cours d'eau « qui sont principalement peuplés de truites ainsi que ceux où il paraît désirable d'assurer une protection spéciale des poissons de cette espèce » des autres cours d'eau. La liste des cours d'eau de la première catégorie apparaît dans le décret n° 58-873 du 16 septembre 1958 déterminant le classement des cours d'eau en deux catégories. Ce classement a

La loi de 1964 a instauré plusieurs grands principes :

- la gestion par grand bassin hydrographique. Le territoire national a été découpé en six grands bassins hydrographiques dont les limites suivent les lignes de crêtes et non les découpages administratifs existants (régions ou départements) ;
- le principe pollueur-payeur, visant à préserver la qualité de l'eau. La collecte des moyens financiers pour permettre la mise en œuvre de la politique de l'eau est fondée sur le principe « pollueur-payeur ». Chaque usager, qui est un pollueur potentiel, doit ainsi s'acquitter d'une redevance pour l'eau qu'il consomme et pour la pollution qu'il rejette ;
- une gestion décentralisée de l'eau associant l'ensemble des usagers et prenant en compte les spécificités de chaque bassin. Dans chacun des six grands bassins ont été mis en place un comité de bassin et une agence de l'eau, qui est un établissement public de l'État. Le comité de bassin représente « le parlement de l'eau », qui décide de la politique qui sera mise en œuvre au niveau du bassin hydrographique. L'agence de l'eau en est l'organe exécutif, chargée de concrétiser les orientations et les grandes décisions prises au niveau du comité de bassin.

Concrètement, cette politique comprend essentiellement deux volets : le financement de la politique de l'eau et la répartition des moyens financiers collectés. Dans la loi de 1964, les agences de l'eau sont désignées en tant qu'« agences financières de bassin ». Les particuliers qui utilisent l'eau pour leurs besoins domestiques, les industriels et les agriculteurs paient une redevance. Ces redevances sont ensuite redistribuées aux usagers sous forme d'aides financières pour les inciter à réduire les pollutions des milieux aquatiques dont ils seraient responsables. La répartition des aides est la prérogative des agences de l'eau, qui ont donc une fonction d'incitation dans ce dispositif général de gestion de l'eau.

L'hydrosystème et la loi du 3 janvier 1992

Entre 1964 et 1992, plusieurs lois importantes concernent la protection de l'environnement. Parmi elles, la loi du 10 juillet 1976 qui affirme, pour la première fois, que la protection de la nature est d'intérêt général. La loi « pêche » du 29 avril 1984 constitue également une avancée significative puisqu'elle stipule que la préservation des milieux aquatiques et du patrimoine piscicole est d'intérêt général.

Au début des années 1980, « le problème de l'eau » connaît une nouvelle dynamique. On parle de « milieu aquatique », d'« écosystème », de « gestion globale ». Il y a une sensibilité écologique qui dépasse le simple fait de la pollution ; la loi sur l'eau dont on parle devra envisager la ressource hydraulique sous tous ses aspects. Après des périodes de sécheresse en 1976 et de 1989 à 1991, on prend conscience que la France peut manquer d'eau. Aux grands textes viennent s'ajouter quelques propositions de lois pour combler les vides et les lacunes de notre législation, notamment pour la protection des eaux souterraines.

Une réforme s'imposait. De nombreuses commissions parlementaires, administratives et universitaires sont réunies. Les solutions proposées peuvent se résumer à trois : simplifier, unifier et préserver la ressource elle-même. Deux idées sont mises en avant dans la nouvelle loi : faire de l'eau « un patrimoine commun ou un patrimoine national » ; en finir avec la référence au droit de propriété et consacrer uniquement « des usages étroitement contrôlés ». Elle précise en outre ce qu'elle entend par gestion équilibrée de la ressource, à savoir : préservation des écosystèmes aquatiques, protection contre toute pollution, développement et protection de la ressource, valorisation de l'eau comme ressource économique. Dans le même temps un thème nouveau apparaît, « le prix de l'eau ».

La loi du 3 janvier 1992, intitulée « loi sur l'eau », reprend l'ensemble des réglementations en vigueur en les élargissant. Elle a pour objet

de garantir la gestion équilibrée des ressources en eau. Elle affirme la priorité de l'intérêt général sur les intérêts individuels et renforce le pouvoir des collectivités territoriales quant à la gestion des rivières. Elle prévoit notamment la mise en place dans chaque bassin ou groupement de bassins d'un schéma directeur d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage), chargé de fixer les orientations fondamentales de la gestion équilibrée des ressources en eau et définissant des objectifs de quantité et de qualité des eaux.

Le Sdage est élaboré par le comité de bassin, assemblée regroupant l'ensemble des acteurs de l'eau, et il décrit la stratégie du bassin pour stopper la détérioration des eaux. Le Sdage doit être mis à jour tous les six ans et il s'impose, en matière de police de l'eau, aux décisions de l'État ainsi qu'aux décisions des collectivités territoriales et des établissements publics. Ces schémas directeurs sont complétés dans chaque sous-bassin par des schémas d'aménagement et de gestion des eaux (Sage). Ces derniers fixent, dans le périmètre défini par le Sdage, les objectifs généraux d'utilisation, de mise en valeur et de protection des ressources en eau, des écosystèmes aquatiques et des zones humides. Le Sage est élaboré par la commission locale de l'eau (CLE), laquelle est composée pour 50 % d'élus locaux, 25 % d'usagers et 25 % de représentants des administrations, à l'initiative du préfet de département. La loi prévoit en outre, pour l'information du public, que les résultats des contrôles sanitaires soient transmis aux mairies « en termes compréhensibles par tous » et affichés.

La Directive cadre sur l'eau (DCE) en 2000

Depuis 1975, l'Europe a mis en place sa politique de lutte contre la pollution des eaux et la dégradation des milieux aquatiques à travers une trentaine de directives et règlements qui nécessitaient plus de cohérence. La Directive a ainsi été présentée comme le souci d'harmoniser et simplifier les politiques de l'eau menées dans les 27 États membres. Depuis octobre 2000, la Directive cadre européenne sur l'eau (directive 2000/60/CE) établit un cadre

réglementaire et fixe des objectifs pour la gestion et la préservation des milieux aquatiques. Son objectif initial est l'atteinte du bon état d'ici 2015 (maintenant 2027), sauf dérogation spécifique.

La DCE innove à plus d'un titre. En premier lieu, elle fixe un cadre européen pour la politique de l'eau, en instituant une approche globale autour d'objectifs environnementaux, avec une obligation de résultat, et en intégrant des politiques sectorielles :

- elle fixe des objectifs clairs avec un calendrier précis : atteindre le bon état des eaux souterraines et superficielles pour 2015, et réduire ou supprimer les rejets de certaines substances classées comme dangereuses. Des dérogations sont possibles si elles sont justifiées. De fait, la date de 2015 est maintenant considérée comme utopique ;
- elle impose une unité d'évaluation : la masse d'eau. Il s'agit d'une « unité hydrographique (eau de surface) ou hydrogéologique (eau souterraine) cohérente, présentant des caractéristiques assez homogènes, et pour laquelle on peut définir un même objectif ». Un même cours d'eau peut être divisé en plusieurs masses d'eau si ses caractéristiques diffèrent de l'amont à l'aval ;
- elle privilégie une vision globale de l'écosystème et non plus sectorielle, paramètre par paramètre ;
- le public est associé à la démarche, il doit être consulté au moment des choix à faire pour l'avenir, dans le but de renforcer la transparence de la politique de l'eau ;
- elle propose une méthode de travail, pour un réel pilotage de la politique de l'eau, avec l'analyse de la situation, puis la définition, la mise en œuvre et l'évaluation d'actions nécessaires pour atteindre les objectifs environnementaux ;
- elle intègre les thématiques de l'aménagement du territoire et de l'économie dans la politique de l'eau. La DCE ambitionne d'être un véritable outil de planification, intégrateur des différentes politiques sectorielles, pour mieux définir et maîtriser les investissements dans le domaine de l'eau.

La loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) de 2006

Adoptée *in extremis* le 30 décembre 2006, après quelques années d'hésitations, la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema) intègre les recommandations de la Directive cadre européenne quant à l'usage de l'eau et privilégie les milieux aquatiques. Parmi les innovations on peut citer :

- Sur le plan institutionnel, la création de l'Onema (Office national de l'eau et des milieux aquatiques) chargé de mener et soutenir au niveau national des actions destinées à favoriser une gestion globale, durable et équilibrée de la ressource en eau, des écosystèmes aquatiques, de la pêche et du patrimoine piscicole.
- La lutte contre les pollutions diffuses avec des plans d'action pour les secteurs sensibles, comme les zones d'alimentation des captages et des zones humides d'intérêt particulier.
- La reconquête de la qualité écologique des cours d'eau :
 - permettre la reconquête de la qualité écologique des cours d'eau par l'obligation d'un débit minimum imposé au droit des ouvrages hydrauliques (respecter un débit réservé de 10 % du débit moyen contre 2,5 % auparavant) ;
 - respecter la continuité écologique sur certains cours d'eau, pouvant conduire à l'interdiction d'implanter des ouvrages, voire à l'arasement de certains barrages ;
 - renforcer la gestion locale et concertée des ressources en eau ;
 - prendre en compte l'adaptation au changement climatique, etc.

Parmi les points saillants de la loi de 2006, on peut mentionner :

- des obligations de respect de la continuité écologique des cours d'eau ;
- l'obligation pour les riverains d'entretenir régulièrement les cours d'eau sans travaux néfastes pour les écosystèmes aquatiques ;

- la destruction des frayères est qualifiée de délit : le tribunal peut ordonner la remise en état du milieu aquatique ;
- l'accès aux berges des cours d'eau domaniaux pour les piétons doit être facilité.

L'article 77 de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques du 30 décembre 2006 (art. L. 212-5-1 du code de l'environnement) a prévu que les Sage se dotent de règlements qui peuvent préciser les volumes prélevables et la répartition entre usages sur leur territoire. Ce volume peut être décliné par saison et être variable en fonction d'indicateurs précis, tels que l'état de la recharge hivernale ou l'hydraulicité de l'année évaluée à la fin de l'hiver. Le volume global prélevable sur un bassin concerne tous les usagers de l'eau (eau potable, industrie, agriculture, navigation, etc.).

Les cours d'eau non domaniaux servent aussi à l'irrigation des terres. Par sa qualité de riverain, un individu est à la fois propriétaire du lit et des berges du cours d'eau, alors qu'il ne dispose sur l'eau elle-même, désormais « chose commune », que d'un droit d'usage que l'on qualifie souvent de préférentiel. Les limites des règles générales du droit d'usage des riverains des cours d'eau non domaniaux sont fixées par l'article 644 du code civil. « Celui dont la propriété borde une eau courante autre que celle qui est déclarée dépendance du domaine public par l'article 538 au titre "De la distinction des biens" peut s'en servir à son passage pour l'irrigation de ses propriétés... Celui dont cette eau traverse l'héritage peut même en user dans l'intervalle qu'elle y parcourt mais à la charge de la rendre, à la sortie de ses fonds, à son cours ordinaire. »

Pour en savoir plus

Argillier C. et Lepage M., 2010. Que peut-on attendre de la Directive cadre européenne sur l'eau en matière de connaissance sur la biodiversité ? *Sciences eaux et territoires*, n° 3, p. 84-87.

Bouteiller J., 1603. *Somme rural ou le grand coustumier général de pratique civil et canon* (édition du manuscrit annotée par Loys Charondas Le Caron). Paris, Barthélemy Macé.

Cardin Le Bret, 1632. *De la souveraineté du Roy*. Paris, Toussaints du Bray.

Courrat A., Foussard V. et Lepage M., 2013. Les indicateurs DCE estuariens. État des lieux à l'échelle européenne en avril 2009. Mise à jour décembre 2010. Beest-Liteau, GIP Seine-Aval.

Dana K., 2009. Lyon et la Saône au xvi^e siècle. Mémoire de master 1 en histoire moderne, sous la direction de Pierre-Jean Souriac, université Jean-Moulin, Lyon III.
http://www.memoireonline.com/10/10/3977/m_Lyon-et-la-Sane-au-XVIe-siecle0.html ☞ (consulté le 23/11/2015)

Guillot P.C., 2011. Approches juridiques des cours d'eau et des estuaires en France, *Vertigo*, hors-série 10, décembre 2011.
<http://vertigo.revues.org/11353> ☞.

Lubin A., 1678. *Mercure géographique, ou le Guide du curieux des cartes géographiques*. Paris, C. Remy éditeur.

Mane P., 1991. Images médiévales de la pêche en eau douce. *Journal des savants*, juillet-décembre 1991, p. 227-261.

Rey A., 2010. La montagne c'est le territoire des dieux, le fleuve celui des hommes.
www.lemonde.fr/voyage/article/2010/04/22/entretien-avec-alain-rey-la-montagne-c-est-le-territoire-des-dieux-le-fleuve-celui-des-hommes-rdquo_1339771_3546.html ☞ (consulté le 23/11/2015)

⁷Le pied est une unité de longueur ancienne correspondant à la longueur d'un pied humain, c'est-à-dire approximativement 30 cm.

Les rivières et notre imaginaire

« Devant l'eau profonde, tu choisis ta vision ; tu peux voir à ton gré le fond immobile ou le courant, la rive ou l'infini ; tu as le droit ambigu de voir et de ne pas voir ; tu as le droit de vivre avec le batelier ou de vivre avec "une race nouvelle de fées laborieuses, douées d'un goût parfait, magnifiques et minutieuses". La fée des eaux, gardienne du mirage, tient tous les oiseaux du ciel dans sa main. Une flaque contient un univers. »

Gaston Bachelard (1942)

Les eaux, qu'elles soient douces ou salées, sont « devenues, principalement, objets de science, d'analyse, de gestion. Mais cela n'a pas imposé un total désenchantement. L'eau douce, notamment, demeure un riche support de croyances, de fantasmes et, surtout, de rêves » (Corbin, 2005). En réalité, à côté de notre mode de pensée qui se veut rationnel, il y a toujours de la place pour les émotions, les mystères, le surnaturel. En effet, les fleuves font partie intégrante des grands mythes de l'humanité. La plupart des civilisations antiques sont nées le long de grands cours d'eau dont la crue apportait la fécondité, mais dont les « colères » terribles et imprévisibles ne manquaient pas d'effrayer. Les cours d'eau sont perçus tout à la fois comme bénéfiques et maléfiques, axes de navigation facilitant les contacts et les échanges commerciaux, mais aussi voies de pénétration et d'invasions des continents (pensons aux Vikings remontant la Seine !).

La symbolique de l'eau relève d'une dualité attirance-répulsion que l'on peut retrouver, au fil des siècles, dans des cultures très différentes. Symbole de vie et de pureté, l'eau intervient comme élément primordial dans beaucoup de cosmogonies. Chez les Égyptiens par exemple, Noun est l'océan primordial précédant la création du monde, une étendue d'eau mal définie, baignant dans l'obscurité la plus complète. Dans la mythologie mésopotamienne, comme l'atteste « le poème de la naissance des dieux beaux et gracieux », retrouvé à Ugarit en Phénicie, l'eau est à l'origine de la création du monde et de la vie. Les deux grands mythes fondateurs sont liés à l'eau : la création du monde à

partir des eaux primordiales et le déluge qui génère la destruction d'une humanité jugée corrompue tout en préparant, néanmoins, sa renaissance. Car l'eau a un double visage : elle est à la fois féconde et destructrice.

L'image du fleuve nourricier qui apporte la vie est fortement ancrée dans les esprits. Comme le disait Hérodote, « La partie d'Égypte où abordent les vaisseaux des Grecs est une terre d'alluvions, un don du fleuve, de même que les régions qui s'étendent à trois jours de navigation en amont du lac » (Hérodote, *L'Enquête*, livre II, collection La Pléiade, 1964). Ce « don », c'est ce qui permet à l'Égypte de ne pas trop dépendre de la pluie, souvent aléatoire sous ces latitudes. Le flux et le reflux du Nil lors de la crue fixent le calendrier des travaux agricoles. L'eau chargée de limon, rend possible une agriculture luxuriante qui a fait la richesse du pays. Mais, si l'Égypte est née du fleuve, elle a pu prospérer grâce à l'ingéniosité des Égyptiens, qui ont pu exploiter au mieux leur environnement. C'est pour irriguer que fut construit un système complexe de canaux et de machines hydrauliques, comme le chadouf, afin d'étendre la surface cultivable. C'est un don qu'il faudra aussi apprivoiser. Car la crue du Nil n'est pas entièrement prévisible : elle peut être trop faible ou trop forte, auquel cas la famine n'est pas loin. C'est tapi au fond d'une caverne enfouie dans les profondeurs d'Éléphantine, non loin d'Assouan, que le dieu Hâpy déclenche les crues du fleuve en déversant le contenu de deux gigantesques jarres.

La rivière : frontière ou trait d'union ?

De manière paradoxale, le cours d'eau est à la fois un trait d'union et une frontière. Les fleuves et leurs vallées furent des voies de communication qui permirent le développement des échanges commerciaux, mais ce furent aussi des voies privilégiées d'invasions. Ainsi, lors des invasions normandes au IX^e siècle, des flottes vikings, parfois composées de plusieurs centaines de bâtiments, avaient remonté la Seine et incendié et pillé Rouen à plusieurs reprises, avant de faire le siège de Paris en 845. On sait moins que les invasions normandes ont concerné également la Loire et la Garonne. Les invasions sur la Loire débutèrent en 843 par des pirates venus de la mer qui s'attaquèrent à Nantes, Tours, Blois, Orléans. Toujours en 843, une

flotte viking d'une centaine de vaisseaux remonta la Garonne jusqu'à Toulouse. Tout ne fut pas négatif... les techniques de construction navale des Normands, très en avance pour l'époque, avec des bateaux à tirant d'eau assez réduit, à voile carrée, servirent de modèles aux chalands de la Loire.

Certains de nos fleuves et de nos rivières constituent des frontières naturelles régionales, marquant parfois la limite entre groupes sociaux. Ainsi, le Rhin et le Danube étaient les frontières naturelles continentales de l'Empire romain. César, dans ses commentaires de *La Guerre des Gaules*, présente d'ailleurs le Rhin comme la limite séparant les peuples gaulois des peuples germaniques. Les aléas de l'histoire en ont fait parfois des frontières politiques, qui sont alors des constructions historiques revendiquées comme telles par les hommes. Ainsi, depuis Louis XIV, le Rhin est devenu une frontière politique entre la France et l'Allemagne, ce qui ne fut pas toujours le cas. En effet, on parle allemand de part et d'autre du Rhin, le fleuve ayant été partie intégrante et un des ferments du monde germanique, qui le surnommait *Vater Rhein*, « le Rhin paternel ». Napoléon, en 1806, raya l'Allemagne de la carte d'Europe, effaçant du même coup la frontière du Rhin. Mais, pour le romantisme allemand, le Rhin va devenir le symbole d'une germanité retrouvée, d'une rivalité franco-allemande faisant du Rhin un véritable fossé entre deux civilisations revendiquant leur rive du fleuve. Dans les conflits et les guerres qui déchirèrent l'Europe au ^{xix}^e et au ^{xx}^e siècle, le Rhin fut à la fois un enjeu et un prétexte.

Franchir le fleuve ?

On ne fait pas que suivre les rivières au fil de l'eau. Il faut parfois les traverser ! Bien entendu, il peut y avoir les gués qu'empruntent aussi les animaux. Et puis, il y avait la glace, l'hiver, qui permettait la traversée, parfois à risques ! Le moyen technique le plus simple fut le bateau puis le bac. Une solution de facilité pour s'épargner la construction d'un pont. Cependant, petit à petit, des ponts de bois ou de pierre furent édifiés, raccourcissant de manière sensible les parcours des marchandises. Mais le franchissement des fleuves représentait un défi.

Il semble que, dans l'Antiquité, la traversée d'un fleuve était considérée comme un sacrilège. Pénétrer dans ses eaux, traverser le courant,

c'était entrer dans le domaine de la divinité, dans ce domaine interdit, que les Romains désignaient par le mot *sacer*, *sacrum*. Une telle audace devait entraîner la mort des coupables. Mais il y avait moyen de se concilier les dieux en leur faisant des offrandes. D'où ce rite qui consistait à jeter des pièces de monnaie dans les fleuves aux lieux de passage, gués ou ponts. Ainsi peuvent s'expliquer les nombreuses trouvailles de monnaies, faites dans le lit de plusieurs rivières, aux endroits mêmes où ces rivières étaient franchies, dans la Saône à Mâcon, dans la Loire à Orléans, dans la Seine à Paris, dans la Maine près d'Angers.

« Nous avons même des raisons de croire qu'à l'origine la construction d'un pont sur un fleuve fut considérée, elle aussi, comme une atteinte sacrilège à la puissance de la divinité fluviale. Quelles que fussent les craintes inspirées par une telle conception de la divinité des fleuves, il parut de bonne heure indispensable de concilier ces superstitions avec les nécessités de la vie. Il était impossible de maintenir aux cours d'eau le caractère de barrières infranchissables pour tous, sous peine de mort. Afin d'apaiser d'avance la colère des divinités fluviales, on leur offrit des victimes humaines ; de tels sacrifices étaient des sacrifices de rachat, de rédemption. Cette notion explique et éclaire le rite des Argées. Le pont, du haut duquel les mannequins, substituts des victimes humaines primitives, étaient précipités dans les eaux du Tibre, n'était autre que le Pont de Bois, *Pons Sublicius*, c'est-à-dire le premier pont qui permit aux habitants de Rome de franchir le fleuve ; à l'époque historique, les mannequins, au nombre de trente, étaient d'abord placés dans des chapelles situées en différents quartiers de la ville ; c'est dans ces chapelles qu'une procession allait les chercher avant de les porter sur le Pont de Bois. Le rite... passait pour avoir un effet collectif ; chacune des parties de la ville envoyait au fleuve sa victime, dont le sacrifice devait racheter, pour l'année qui s'ouvrait, toutes les atteintes portées à la divinité fluviale par ceux de ses habitants qui passeraient sur le pont. » (Toutain, 1926)

Le fleuve peut donc représenter une barrière psychologique, en partie symbolique, comme en témoigne l'expression « franchir le Rubicon ». Ce petit fleuve côtier qui se jette dans l'Adriatique sert de frontière entre l'Italie romaine et la province de la Gaule cisalpine. Les Romains l'ont investi d'une importance presque sacrée car il représente la limite qu'aucun général Romain n'a le droit de franchir à la tête de ses troupes sans y être expressément invité, faute de quoi le général en question est déclaré rebelle et ennemi de la Patrie. La loi romaine assimile cet acte au crime suprême et la punition en est la peine de mort. Il entra dans l'histoire quand Jules César, poursuivant Pompée, le traversa avec ses

légions en armes en 49 av. J.-C. C'est à cette occasion que César prononça, dit-on, cette phrase demeurée célèbre : « *alea jacta es* » (le sort en est jeté !).

« Dans sa course, César avait déjà vaincu les glaces des Alpes. En lui-même il projetait d'immenses changements et une guerre future. Quand il atteignit les flots du petit Rubicon, le général crut voir l'apparition immense de la patrie tremblante. Elle brillait dans la nuit obscure. Le visage décomposé, elle répandait ses cheveux blancs autour de sa tête recouverte de tours. Elle s'arrachait la chevelure et se dressait les bras nus. Elle prit la parole tout en gémissant : "Soldats, où allez-vous trop loin ? Où portez-vous mes étendards ? Si vous venez dans le respect de la loi, si vous êtes de bons citoyens, la frontière se trouve ici." Alors un sentiment d'horreur s'empara des membres du général. Sa chevelure se hérissa. Une soudaine faiblesse arrêta sa marche et retint ses pas au bord du Rubicon. » (Lucain, *Pharsale*, I, 183-212)

... Ce qui n'empêcha pas César de franchir le Rubicon !



Figure 3.1 César franchit le Rubicon.

Sur le Rhône, à l'époque médiévale, seuls trois ponts en pierre enjambaient le fleuve : le pont du Rhône à Lyon (aujourd'hui pont de la Guillotière), celui de Pont-Saint-Espirit et le pont d'Avignon. Les ponts sont les symboles de l'obstacle surmonté, de la nature dominée par

l'homme et des techniques qu'il a mises au point. On connaît de nombreuses légendes de « ponts du diable ». Une telle dénomination traduit probablement les difficultés rencontrées dans la construction de ces ouvrages, et le fait que les architectes avaient dû recourir à l'habileté de Lucifer.

Parmi les superstitions accompagnant ces ponts du diable, il y en a une selon laquelle l'âme du premier passant doit appartenir au diable, c'est la rançon pour l'aide accordée. On dit aussi que la première personne à traverser le pont meurt dans l'année. Au Moyen Âge, la France aurait compté plus d'une trentaine de ponts habités (Gential, 2002). Dans les villes fortifiées, il fallait utiliser tout l'espace disponible pour les habitations, les commerces, les lieux de culte. Après 1500, au Grand Pont (plus tard pont du Change), à Paris, les autorités encouragèrent l'installation de commerces de luxe et des agents de change.



Figure 3.2 À Saint-Savin-sur-Gartempe, le Vieux Pont date du XIII^e siècle. (photo C. Lévêque)

Depuis le Moyen Âge, il permet à la route Poitiers-Bourges de franchir la rivière Gartempe. Les ponts ont joué un rôle majeur dans l'économie nationale, cependant, ils ont aussi une signification symbolique : le pont rapproche les opposés, c'est un lieu d'échange.

Les fleuves relient la vie à la mort

Le fleuve est le symbole du passage de la vie vers la mort, c'est un élément récurrent pour atteindre l'autre monde. Le fleuve est difficile à franchir, et gardé par des créatures cauchemardesques, ce qui représente souvent une épreuve initiatique à surmonter pour atteindre la vie éternelle. Dans les romans du Moyen Âge, le pont est souvent présent dans les épreuves que doit surmonter le chevalier.

Selon les croyances égyptiennes, le passage entre la vie et la mort se matérialise par la traversée du Nil, qui sépare le monde terrestre du royaume des dieux. Puis le défunt doit se présenter devant un tribunal dirigé par Thot et Osiris. Pour traverser le fleuve, le défunt doit décliner son nom et sa destination. Il doit demander à tous les éléments de la barque funéraire de s'assembler, puis il en nomme tous les composants, chaque élément, correspondant à une divinité : les rames sont les doigts d'Horus, la voile la déesse Nout, l'écope est la main d'Isis, la barque la jambe d'Isis... Pour affronter le jugement d'Osiris, le défunt doit ensuite triompher des embûches du monde souterrain.

L'enfer grec comporte quant à lui cinq fleuves bien connus : le Styx, l'Achéron, le Cocyte, le Phlégéthon et le Léthé. Les Enfers sont séparés du royaume des vivants par un ou plusieurs fleuves, souvent le Styx, parfois aussi l'Achéron. Qu'un mortel touche les eaux du Styx, et il sera pourvu de pouvoirs surhumains. Thétis, mère d'Achille, le plonge à sa naissance dans le Styx pour le rendre invincible – sauf au talon, par lequel elle le tient...

La Bible n'est pas en reste. Un fleuve sortait d'Eden pour arroser le jardin, et de là il se divisait en quatre fleuves. Le nom du premier est Fiscon ; c'est celui qui coule autour de tout le pays d'Avila, où l'on trouve l'or, le bdellion et la pierre d'onyx. Le nom du deuxième fleuve est Guihon : c'est celui qui coule autour de tout le pays de Cus. Le nom du troisième est Hiddekel (le Tigre) ; c'est celui qui coule vers l'orient de l'Assyrie. Et le quatrième fleuve est le Phrat (Euphrate).

Les cours d'eau, demeures des monstres et des divinités

Le monde aquatique est le monde de l'invisible par opposition au monde terrestre. Les fleuves sont habités par des êtres monstrueux. Sous l'eau, en effet, on ne les voit pas ! Et tous les fantasmes sont alors permis. Dans de nombreuses cosmogonies, les fleuves hébergent des dieux et des créatures extraordinaires, souvent dangereuses pour les hommes.

Le Nil fut vénéré comme l'une des divinités majeures du panthéon égyptien. Il avait ses prêtres, dont les fonctions étaient jugées capitales au moment de l'inondation annuelle. La grande peur était que la crue n'arrive pas. C'est pourquoi on invoquait le dieu Hâpy (père de tous les dieux), qui personnalise la générosité et la fertilité du Nil.

Dans l'hindouisme, les fleuves sont des entités sacrées. Le Gange est un élément fondamental de la Trinité hindoue, connu pour les rites qui lui sont associés. Les morts sont brûlés et jetés au Gange, et les bords du fleuve sont aménagés en fonction de ces rites, car les cendres dans l'eau appartiennent au cycle de la réincarnation. De toute l'Inde, on vient mourir sur les rives du Gange, surtout à Bénarès où des marches d'escaliers ont été créées avec des bûchers funéraires, alors qu'à quelques pas d'autres hindous se lavent, nagent ou nettoient leur vaisselle.

Chez les Grecs, chaque fleuve avait son dieu tutélaire, que les sculpteurs grecs représentaient sous la forme d'hommes portant de longues barbes, s'appuyant sur une amphore d'où l'eau jaillissait. Hésiode en compte trois mille qui sont les fils d'Océan et de Téthys. Dans les fleuves et les sources, vivaient également des nymphes appelées les Naïades. Toutes les sources étaient habitées par des nymphes qui logeaient dans des habitations souterraines magnifiques.

La civilisation celtique ne fut pas en reste. La Gaule comptait de nombreuses divinités aquatiques, en majorité des déesses-mères, qui étaient adorées dans des sanctuaires. Nos ancêtres avaient peuplé sources, rivières et lacs de tout un panthéon de divinités, du sommet des montagnes au fond des vallées. Les sources, entourées d'une

enceinte sommaire, coulaient au bénéfice de tous, imprégnées des vertus et des pouvoirs du dieu-héros auxquelles elles étaient consacrées. Les Romains, qui pratiquaient un culte identique, s'accommodèrent de ces dispositions et installèrent leurs dieux dans l'enclos. Divinités celtiques et romaines cohabitèrent pacifiquement dans des sanctuaires mixtes.

Un exemple de cette fraternité des cultes est sans doute celui des sources de la Seine dont l'origine remonte aux périodes préceltiques. L'eau des sources de la Seine a fait l'objet d'un culte de la part des Gallo-Romains. Il semble que la fréquentation de ce sanctuaire était de même nature et de même ampleur que le pèlerinage de Lourdes. La déesse Sequana y était vénérée. On lui prêtait des pouvoirs protecteurs et bénéfiques. Les sources étaient captées pour alimenter plusieurs bassins, dans lesquels les pèlerins se livraient à des ablutions. Les campagnes de fouilles ont mis à jour des centaines d'ex-voto en bois, en bronze ou en pierre. Ces ex-voto sont souvent des représentations partielles du corps humain (bras, jambes, mains, torsos, organes génitaux, anomalies pathologiques). Ces offrandes laissent nettement apparaître la cohabitation des deux traditions, celtique et romaine. La déesse Sequana (figure 3.3) est représentée le plus souvent sous les traits d'une jeune fille debout sur une barque. Des statuettes votives à cette effigie furent retrouvées le long de la Seine.



Figure 3.3 La nymphe Sequana, personnification mythique de la Seine.

Fille de Bacchus, elle fut enlevée par Neptune, séduit par sa beauté. Elle finit par échapper au dieu de la mer et se métamorphosa en rivière au cœur de la Bourgogne. Ce nom, dû à Jules César, serait une transcription de Sicauna, qui désigne l'Yonne.

Nymphes

Dans la mythologie grecque, les nymphes (jeunes filles) peuplent la plupart des lieux. Ce sont généralement de jolies filles, souvent associées à des divinités supérieures. Les Naïades (du grec signifiant « couler ») sont les nymphes qui présidaient aux fontaines, aux ruisseaux, aux rivières. Elles passaient pour les filles de Zeus et faisaient l'objet d'une adoration particulière. Beaucoup de fontaines leur sont dédiées. Par leur nature, elles s'apparentent aux humains et, de leur union avec des hommes naissent des héros ou demi-dieux. Mais elles peuvent aussi noyer les mortels trop curieux qui tentent de contempler leur royaume immergé.

Vers le III^e siècle, les chrétiens entreprirent d'évangéliser le pays pour imposer leur dieu unique. Tous les conciles, jusqu'au VIII^e siècle, jettent l'anathème sur les cultes rendus aux « sources sacrées ». On comble les fontaines, on détruit les temples, on coupe les arbres sacrés... Et souvent, sur les décombres, on se réapproprie les anciennes divinités

pour les affubler de noms chrétiens. L'Église va ainsi récupérer les dévotions aux fontaines et les fées, les « dames » laissèrent la place à Marie, à qui de nombreuses fontaines miraculeuses furent dédiées. Le culte des saints remplaça d'une certaine manière celui des anciennes divinités. On faisait des pèlerinages aux fontaines dans l'espoir d'obtenir des guérisons. Autant de comportements que l'on peut encore observer de nos jours. Malgré une récupération globalement réussie par la religion chrétienne, les anciennes divinités continuèrent néanmoins à résister dans les campagnes, et le paganisme perdura longtemps. De nos jours, on rencontre encore des sources dites « miraculeuses » qui attirent des pèlerins.

À la Renaissance, les fées rejoignirent les nymphes antiques au fond de leurs palais aquatiques. Un nouveau légendaire vit le jour, fortement inspiré du précédent. Les fées de la Bourgogne venaient en foule se baigner à minuit dans la fontaine de Talent qui ne tarissait jamais. Ondines et fées acceptaient parfois un commerce charnel avec les mortels, mais elles n'acceptaient de prendre un homme pour époux qu'à la condition qu'il ne dévoile jamais leur origine aquatique et ne tente jamais de les regarder nues. C'est ainsi, pour avoir bravé l'interdit, que Raymondin, comte de Forez, perdit sa femme Mélusine qu'il vit s'envoler par la fenêtre, traînant derrière elle sa queue de serpent.

Saint Nicolas, patron des marins

Évêque de Myre, en Lycie (Grèce), saint Nicolas est le protecteur de tous les marins. La foi des marins se communique à celles des bateliers et, plus généralement, à tous les professionnels qui ont affaire avec le transport fluvial. Il disposait auparavant sur les parcours fluviaux de chapelles réservées, statues, ex-voto, etc., où les marins pouvaient venir implorer son secours. Sa dévotion perdure à l'exemple des *Amis du Lien*, bateau-chapelle amarré sur la rive gauche de la Saône, qui organise chaque année le Pardon des marins. C'est l'occasion d'une fête au bord de l'eau, en présence de bateaux décorés, bénis après l'office, avec des attractions sur l'eau complétées par le traditionnel tournoi de joutes.

Dans la Gaule couverte de forêts sombres, l'imaginaire celtique va créer des figures fabuleuses, du dragon à la fée. Le serpent qui protégeait les sources est à l'origine du mythe de la vouivre, un serpent ailé au corps couvert de feu. Quant aux créatures animales dont l'art celtique a laissé de nombreuses traces, ce sont les gardiens des conduits souterrains d'où s'écoulaient les eaux. Ils en interdisent l'entrée, participant par là

même au mystère des origines des sources. Ainsi, gardien à la fois des eaux et des mystères souterrains, le basilic est un reptile qui tue tous ceux qui croisent son regard.

Selon la tradition populaire, les eaux du Rhône abritent, vers Tarascon et Beaucaire, bien des monstres fantastiques, comme la tarasque (figure 3.4).

Tout aussi dangereux étaient les dracs. « On raconte qu'ils ont leur séjour dans les gouffres des fleuves, et qu'en prenant l'apparence d'anneaux d'or ou de coupes flottant sur l'eau, ils attirent femmes et enfants qui se baignent au bord des rivières ; en effet, quand ceux-ci tentent d'attraper les objets qu'ils ont vus, ils sont brusquement enlevés et entraînés au fond de l'eau. » (Gervais de Tilbury, *Otia imperialia*, vers 1215)

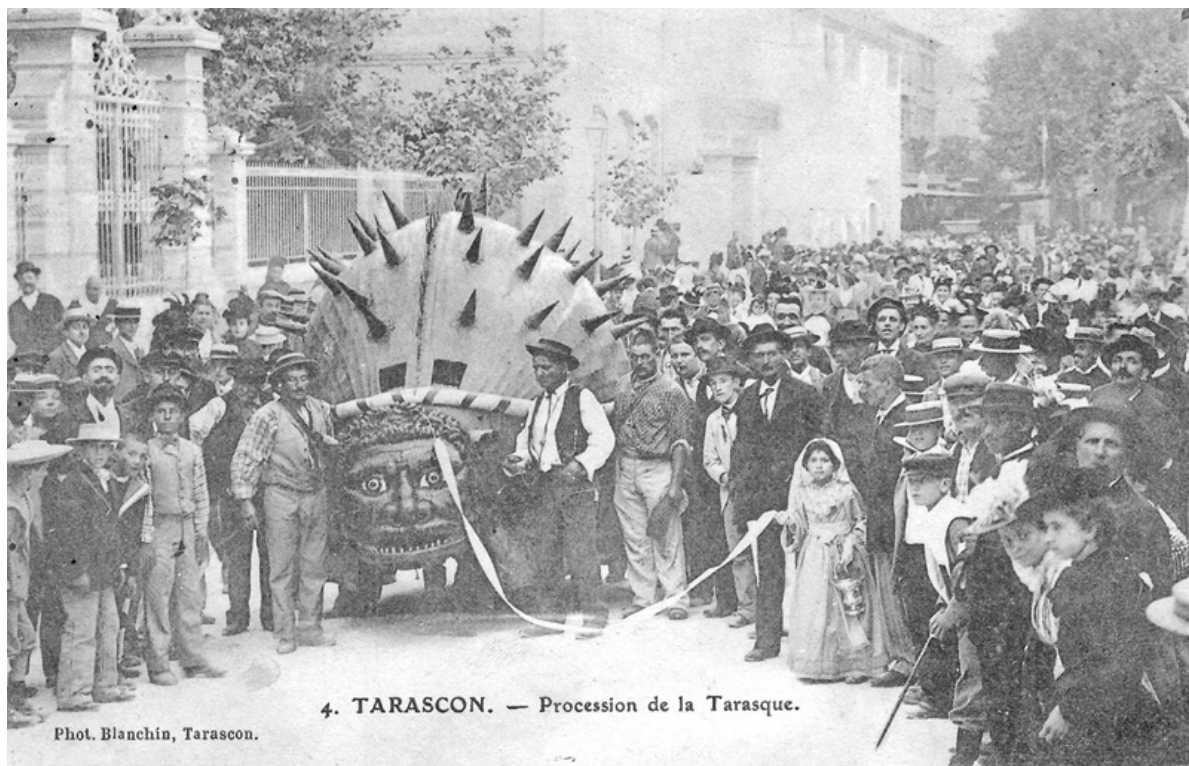


Figure 3.4 Procession de la tarasque à Tarascon.

Jusqu'à la fin du ^{xix}^e siècle, les festivités issues de la légende se composaient d'une procession et de jeux menés par les différentes corporations de métiers. Elles étaient destinées à exorciser les

débordements intempestifs du fleuve. L'effigie était naïve mais impressionnante : une immense carcasse de fer de 6 mètres de long, au corps en forme de tortue, hérissé de piquants, une tête humaine avec des moustaches gauloises, des oreilles triangulaires, des dents de poisson carnivore et une longue queue qui balaie tout sur son passage. En 2005, l'Unesco a proclamé les fêtes de la tarasque à Tarascon « patrimoine oral et immatériel de l'humanité », mais la tarasque ne sort plus qu'une fois par an, désormais.

La tarasque

La tarasque est un animal fantastique qui fait partie de la culture populaire provençale de l'époque médiévale. Avec ses terribles dents acérées, elle s'attaquait à tous ceux qui passaient à sa portée pour s'en repaître, qu'ils soient humains ou animaux. Elle est décrite par Jacques de Voragine dans la *Légende dorée*, qu'il écrivit dans les années 1261-1266 : « Il y avait, à cette époque, sur les rives du Rhône, dans un bois entre Arles et Avignon, un dragon, moitié animal, moitié poisson, plus épais qu'un bœuf, plus long qu'un cheval, avec des dents semblables à des épées et grosses comme des cornes, qui était armé de chaque côté de deux boucliers ; il se cachait dans le fleuve, d'où il ôtait la vie à tous les passants et submergeait les navires. »

Selon la tradition provençale, une barque miraculeusement guidée au travers de la tempête vint aborder un jour non loin de l'embouchure du Rhône. Elle transportait notamment Marthe, sœur de Lazare, le ressuscité. Celle-ci remonta le Rhône en prêchant la parole et en multipliant les miracles. Les populations des bords du fleuve en aval d'Avignon subissaient alors les fureurs d'un monstre qui désolait les campagnes et dévorait hommes et bétail. C'était un dragon à longue queue, dont la gueule rappelait celle du lion et dont le dos était protégé par une forte écaille de tortue qui le rendait invulnérable. On le nommait « tarasque » et on le croyait sorti des abîmes marins ou des eaux du Rhône. Les habitants étaient à ce point terrorisés qu'ils vouaient même un culte superstitieux au monstre. Ils implorèrent la sainte, qui accepta de les délivrer.

Marchant vers le monstre, elle lui commande au nom de Jésus-Christ de venir vers elle et dénoue sa ceinture pour la passer au cou de la terrible tarasque. Cette dernière devenue soudain docile, Marthe l'achemine dans la bourgade voisine comme elle aurait pu faire d'un chien familial. En souvenir de cette délivrance miraculeuse, la ville reçut le nom de Tarascon et les habitants instituèrent une fête commémorative, dont le cérémonial fut réglé au ^{xv}^e siècle par le roi René et qu'on célèbre encore aujourd'hui chaque année. La tarasque devint le symbole de Tarascon ; son image figure sur les armes de la cité ; elle est sculptée sur la façade de son hôtel de ville, gravée sur ses sceaux et ses monnaies anciennes.

On pourrait croire que ces légendes font partie du passé. Mais il existe aussi de « nouveaux monstres », à l'exemple du silure glane, un poisson originaire du Danube qui a été introduit dans presque toutes les rivières d'Europe au ^{xx}^e siècle. De grande taille (il peut atteindre 2,5 m), vivant sur les fonds de la rivière, il est dépourvu d'écailles et son aspect

rebuté. Sur la Saône, des rumeurs circulent sur son compte : un berger allemand aurait été mordu par celui que l'on surnomme « le requin d'eau douce » ou « les dents de la Saône ». Sans parler des légendes qui racontent qu'en Europe centrale, sa terre d'origine, des enfants finissent parfois dans l'estomac du monstre. En réalité il n'y a aucun cas recensé d'attaque avérée sur l'homme.

« Je n'ai pas vu le chien se faire happer par le silure, mais j'en ai entendu parler. Ça se serait passé entre Lamagistère et Golfech », précise M. Corbëfin, garde-pêche sur le secteur de Port-Sainte-Marie-Aiguillon. « Ça ne m'étonne pas, poursuit-il, car j'ai pu constater que le silure avale tout et n'importe quoi. Lors des battues au cormoran, en Garonne par exemple, j'avais un fusil avec injecteur automatique, le silure n'hésitait pas à gober les cormorans et jusqu'à quatorze douilles. » (*La Dépêche du Midi*, 2008)

Pour en savoir plus

Armani G., 2011. Silure et PCB : deux intrus dans l'espace fluvial pour penser l'ordre naturel. *Vertigo*, hors-série 10.

Bachelard G., 1942. L'eau et les rêves, Essai sur l'imagination de la matière.

Corbin A., 2005. *Le Ciel et la Mer*. Bayard, 118 p.

Gential A., 2002. Le Pont habité comme solution pour l'aménagement urbain des villes de demain. École d'architecture de Lyon, mémoire M45.

Lucain, *Pharsale*.

Toutain J., 1926. Le culte des fleuves. Sa forme primitive et ses principaux rites chez les peuples de l'Antiquité classique. *L'Ethnographie*, n° 13-14.

Un fleuve dans sa vallée : de l'écosystème au paysage

« C'est donc par abstraction pure qu'on arrive à considérer un fleuve comme un être isolé. Car il n'est en réalité que l'ensemble des rivières et des ruisseaux accourus de toutes les extrémités du bassin ; il réunit les milliers de filets d'eau échappés aux glaces ou sortis des veines de la terre ; il se compose des gouttelettes innombrables qui suintent de la terre saturée de pluie ou couverte de neige... On peut donc dire que les cours d'eau qui répandent la vie sur tout le globe, et sans lesquels les continents seraient des espaces arides et complètement inhabitables, ne sont autre chose qu'un système de veinules rapportant au grand réservoir océanique les eaux déversées sur le sol par le système artériel des nuages ou des pluies. »

Charles-Auguste Millet (1871)

Le cours d'eau n'est pas un simple tuyau d'évacuation des eaux ; il s'inscrit dans un ensemble plus large, celui de son bassin versant et de ses interactions avec les autres milieux environnants, qu'ils soient terrestres, aquatiques, aériens, etc. Il s'inscrit également dans un contexte de relations socio-économiques par la production de biens et de services.

La notion de gestion intégrée des ressources en eaux (International Water Resources Management) (GIRE ou IWRM) a été introduite en 2000 (GWP, 2000). Elle met l'accent sur la nécessité d'aborder la gestion de l'eau à la fois en termes techniques (eau de surface et souterraine) et sous ses diverses facettes politiques, économiques et sociales. La gestion intégrée élargit le débat en rappelant notamment que le partage de l'eau n'est pas seulement un problème technique mais se fait dans un monde dominé par la logique politique.

Dans une perspective de gestion durable, les collègues canadiens (Canada, 1996) avaient mené une réflexion sur l'approche écosystémique des grands systèmes fluviaux, qui reste d'actualité.

Les concepts structurants sont les suivants :

- étant donné que tous les éléments d'un écosystème (physiques, chimiques et biologiques) sont interdépendants, les ressources doivent être gérées comme des systèmes dynamiques et intégrés plutôt que comme des éléments indépendants et distincts ;
- la complexité des problèmes et des enjeux soulevés dans un écosystème ne peut être abordée que par l'intégration des préoccupations scientifiques, sociales et économiques ; la recherche, la planification, la communication et la gestion environnementale doivent devenir encore plus interdisciplinaires ;
- l'accent est mis sur les questions à long terme ou à grande échelle, ce qui permet d'adopter une stratégie davantage orientée vers « l'anticipation et la prévention » plutôt que la méthode la plus courante de « réaction et correction » ;
- on reconnaît le rôle de la culture, des valeurs et des systèmes socio-économiques dans les questions de gestion de l'environnement et des ressources.

Un concept écologique structurant : l'hydrosystème

Un cours d'eau s'inscrit dans un bassin versant qui marque l'emprise du fleuve sur le milieu géographique. C'est un territoire limité, comparable à une cuvette qui collecte les eaux de pluies ruisselant sur le sol pour les diriger vers la rivière ou vers une nappe d'eau souterraine. Sur le plan écologique, le bassin versant de chaque fleuve est isolé des bassins adjacents par des lignes de partage des eaux (ou lignes de crêtes) qui sont des frontières naturelles dessinées par le relief et séparant les eaux de ruissellement. Il en résulte que les bassins versants sont équivalents à des îles dans chacune desquelles les espèces aquatiques, telles que les poissons,

mollusques ou crustacés, évoluent de manière indépendante. La fragmentation géographique des systèmes aquatiques est ainsi un facteur favorable à la différenciation des espèces. C'est ce qui explique la richesse relative en espèces des eaux continentales, dans lesquelles on a recensé 130 000 espèces décrites, à comparer aux quelque 300 000 espèces connues en milieu marin mais pour une surface et un volume bien plus considérable (Balian *et al.*, 2008).

Dans ce bassin versant, l'eau est le vecteur principal des échanges entre les diverses composantes du paysage. Les cours d'eau sont classiquement perçus comme des systèmes organisés le long d'un gradient longitudinal. L'eau s'écoule d'amont vers l'aval avec, simultanément, une augmentation du débit et une réduction de la pente, qui vont structurer le lit et ses habitats. L'ensemble constitué par le chenal et ses annexes (terrestres, aquatiques et interstitielles) est désigné par l'expression d'« hydrosystème fluvial » (Amoros et Petts, 1993).

Les systèmes aquatiques continentaux sont des systèmes ouverts, fortement influencés par les milieux terrestres et marins qui les entourent, pour les apports tant en eau qu'en éléments nutritifs, et pour les échanges de matériel biologique. Le système fluvial (figure 4.1) fonctionne avec sa vallée alluviale et les différents biotopes aquatiques qui contribuent au cycle biologique de nombreuses espèces. Il est également en interaction avec le milieu souterrain, qui participe à l'alimentation en eau du système superficiel et sert à la fois de milieu de vie pour des espèces strictement hypogées, et de refuge pour de nombreuses espèces benthiques épigées. Tout aménagement du cours du fleuve, toute modification de l'occupation des sols sur le bassin versant, a donc des répercussions sur le cycle hydrologique, la qualité des eaux et en définitive sur les systèmes biologiques.

Retour sur la notion de système

Le terme système vient du grec *systema* qui signifie « ensemble organisé ». Le concept de système est une construction intellectuelle destinée à comprendre et à expliquer le fonctionnement d'un ensemble de phénomènes que l'on étudie. C'est

une manière de prendre en compte les phénomènes complexes. À la différence de l'approche analytique qui isole les parties d'un tout afin de les analyser séparément, l'approche systémique englobe la totalité des composantes et des mécanismes de fonctionnement du système étudié.

Dans la pratique, un écosystème est une unité écologique composée d'espèces vivantes en interactions entre elles et avec leur environnement physico-chimique. Selon la théorie des systèmes, un écosystème est caractérisé par une structure et des fonctions.

La structure comprend :

- des éléments constitutifs : sels minéraux, espèces, populations, habitats, etc. ;
- des réseaux : trophiques, de communication, etc. ;
- des stocks (biomasse) de matière vivante ou de minéraux.

Les fonctions sont caractérisées essentiellement par des flux (de matière, d'énergie, etc.). Mais un tel système est également capable d'ajustements, et comprend des boucles de rétroaction.

On peut identifier trois grands principes généraux fondant les propriétés d'un système :

- le principe d'interactivité : le système est constitué par un ensemble d'éléments qui interagissent entre eux pour assurer son fonctionnement. Ces éléments ne sont donc pas isolables ;
- le principe de rétroaction (ou *feed-back*). C'est le principe d'effet en retour du tout vers les parties. Le comportement et l'évolution d'un élément inséré dans un système dépendent du système en fonction du principe précédent ;
- le principe d'émergence. Les éléments en interaction qui composent le système forment une entité de laquelle « émergent » des propriétés nouvelles par rapport à celles de chacun des éléments. Aux propriétés de ces derniers, qui peuvent être sélectionnées ou occultées pour certaines d'entre elles, se surajoutent d'autres propriétés nouvelles. C'est le principe aristotélicien selon lequel « le tout est plus que la somme des parties ». La vie est une propriété émergente qui n'est pas seulement la somme des propriétés des organes.



Figure 4.1 Le fleuve dans sa vallée.

Le système fluvial est un système hétérogène (écosystème) constitué par une mosaïque de milieux variés, d'eau courante et d'eau stagnante, en interaction les uns avec les autres et avec le milieu terrestre (d'après FAO, 1998, *Rehabilitation of rivers for fish*).

Un hydrosystème (figure 4.2) est ainsi caractérisé par une organisation dans plusieurs dimensions :

- L'axe longitudinal

Les rivières, les fleuves sont des systèmes étirés dans l'espace. Les paramètres physiques et chimiques, comme les caractéristiques de l'eau, la pente, le débit et la granulométrie du fond du lit, varient de la source à l'embouchure. L'écoulement unidirectionnel de l'eau et des sédiments, de l'amont vers l'aval, se traduit par l'existence d'un gradient longitudinal : débits, profondeur et largeur du cours augmentent vers l'aval alors qu'à l'inverse, la pente, la vitesse du courant et la granulométrie des sédiments diminuent. En matière de fonctionnement et de gestion, on peut parler de solidarité amont-aval : tout événement intervenant à l'amont aura des répercussions sur l'aval !

- La dimension transversale (lit majeur, plaine d'inondation)

Le lit mineur entretient des échanges avec sa plaine d'inondation et les annexes fluviales, qui peuvent être permanentes ou bien saisonnières au moment des crues. Ces échanges, qualifiés de connectivité latérale, sont nécessaires au maintien des milieux naturels de la plaine et à la biologie de nombreuses espèces. Les arbres et arbustes de la rive constituent une source d'énergie pour les organismes aquatiques. Cette connectivité est souvent entravée de nos jours sur les cours d'eau européens, pour lesquels beaucoup de plaines d'inondation ont été déconnectées.

Le lit

Le lit désigne tout l'espace occupé, en permanence ou temporairement, par un cours d'eau. On distingue le lit majeur du lit mineur, ce dernier étant la zone limitée par les berges. Le lit majeur est l'espace occupé par le cours d'eau lors de ses plus grandes crues. On le désigne également sous l'expression « débit de plein bord », qui est la limite au-delà de laquelle l'eau se répand dans la plaine d'inondation. On attribue à Brunetto Latini, encyclopédiste médiéval, la première utilisation du terme lit pour désigner l'espace occupé par un cours d'eau : « La rivière semble dormir, mais il lui arrive de sortir de son lit. »

- La dimension verticale (nappes phréatiques)

Les cours d'eau ont une composante souterraine car il y a des échanges entre la rivière et la nappe. Pour une rivière qui coule sur des roches perméables, l'eau de surface est accompagnée d'un

volume au moins aussi important qui s'écoule dans les alluvions, mais avec des vitesses bien plus lentes. En période de crue, une partie des eaux charriées par la rivière s'infiltré dans les sédiments pour alimenter la nappe. En période d'étiage, les eaux souterraines assurent, en retour, le maintien d'un débit des cours d'eau. Ces échanges eau de surface-eaux souterraines concernent également les éléments dissous et les organismes aquatiques.

- La dimension verticale (échanges avec l'atmosphère)

Un cours d'eau et son bassin versant sont bien évidemment en interaction avec l'atmosphère, *via* les pluies, mais aussi par les retombées des substances en suspension dans l'atmosphère, ou encore les échanges thermiques. On oublie souvent que beaucoup d'espèces aquatiques se déplacent aussi dans l'air, à l'instar des insectes, ou voyagent accrochées au pelage ou au plumage des animaux terrestres.

- La dimension temporelle

Les cours d'eau ont une histoire. Celle, à long terme, des événements climatiques et géologiques qui ont façonné sa vallée. Celle à moyen et court terme, liée aux événements climatiques exceptionnels ainsi qu'aux usages et aux aménagements de nature anthropique. Le système que nous observons aujourd'hui est en réalité un héritage. La connaissance de l'histoire de l'écosystème permettra bien souvent de comprendre certains aspects de son fonctionnement actuel, sans anticiper néanmoins sur son fonctionnement futur !

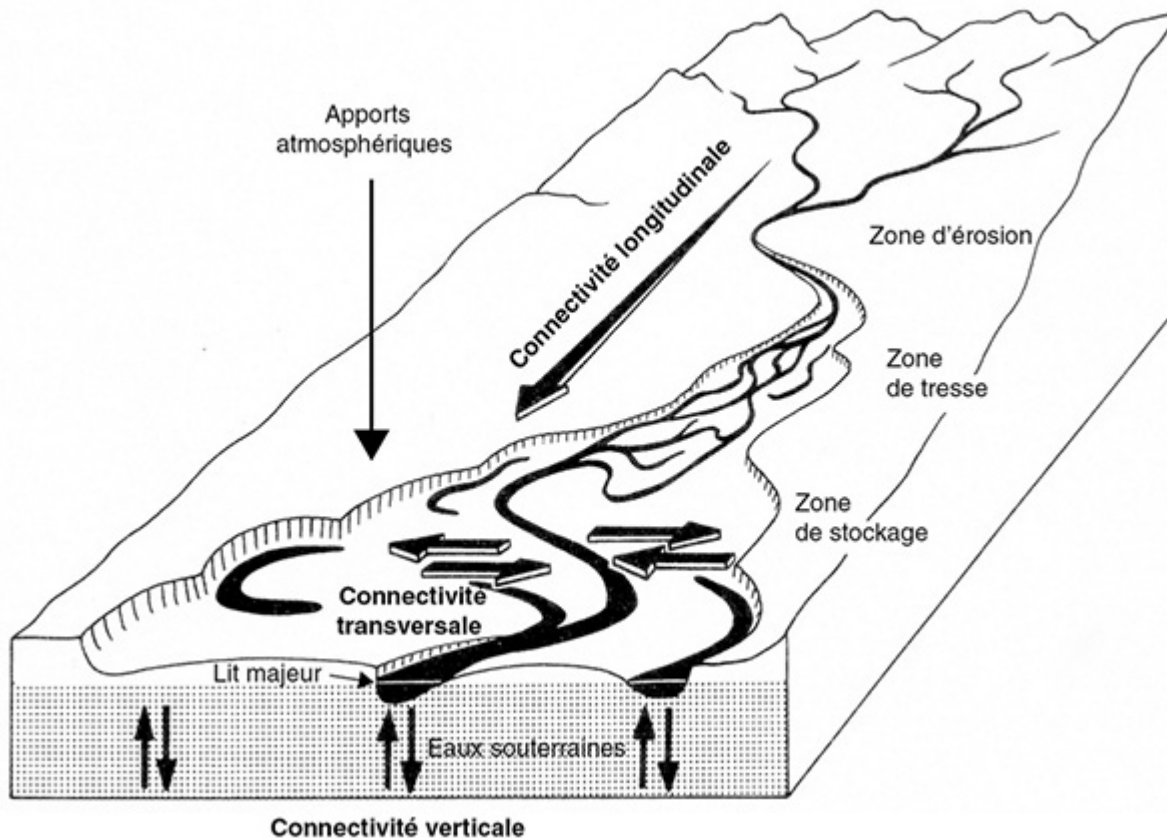


Figure 4.2 L'hydrosystème dans ses différentes dimensions longitudinales, horizontales et verticales (d'après Amoros et Petts, 1993).

La rivière (le fleuve) est-elle (-il) un écosystème ?

Dans les années 1970, il y a eu des débats quant à l'application du concept d'écosystème aux systèmes fluviaux. Beaucoup de limnologues considéraient que la seule unité de la rivière (ou du fleuve) est son nom. On y trouve en effet de nombreux biotopes distribués de manière hétérogène. Une rivière peut également traverser des zones climatiques et biogéographiques différentes (à l'image du Nil ou du Niger, mais aussi du Rhône). En outre, par rapport à un lac qui est l'archétype de l'écosystème, on voit bien qu'un certain nombre de processus ne sont pas tout à fait similaires : en particulier, l'énergie et la matière ne sont pas recyclées sur place, mais ne font que transiter avec le courant. La logique voudrait alors que l'on considère une rivière (le bassin hydrographique en réalité) comme un niveau hiérarchique supérieur à l'écosystème, un éco-complexe par exemple.

Un concept hybride : l'anthroposystème

Le concept d'anthroposystème développé par le programme Environnement, Vie et Sociétés du CNRS (Lévêque et Van der Leeuw, 2003) fait l'hypothèse qu'il y a des relations dialectiques sociétés/milieus : les hommes n'ont pas seulement impacté leur environnement ; ils se sont également adaptés aux milieux dans lesquels ils vivent et ils ont développé des technologies et des cultures propres à ces milieux. Ce faisant, ils ont modifié leur environnement pour satisfaire leurs besoins matériels et spirituels. Autrement dit, les systèmes naturels ne doivent pas être considérés seulement comme des gisements de ressources, car ils ont également servi de cadre à l'élaboration des relations sociales qui s'y sont développées au cours des temps. C'est cet ensemble interactif qui constitue un véritable système ou anthroposystème. C'est tout autant une construction sociale qu'une entité géographique ou écologique.

Ainsi, les cours d'eau européens sont utilisés depuis longtemps par les sociétés humaines pour le transport et comme source d'énergie, de bonnes raisons parmi d'autres de construire les villes à proximité des fleuves (chapitre 9). Mais, simultanément, les hommes ont eu à se protéger des crues et des divagations des fleuves. Il en résulte que les sociétés ont depuis longtemps modifié et façonné les cours d'eau et leurs bassins versants pour mieux les utiliser et les sécuriser. Elles ont surimposé un environnement artificiel et construit à des milieux dits naturels. Ce faisant, elles ont également modifié les flux de matières et d'énergie et le fonctionnement des cours d'eau est fortement contraint par l'usage qui en est fait.

En définitive, un cours d'eau, en Europe, est un système doublement construit : par les dynamiques à long terme de l'environnement biophysique (le climat par exemple) et par les dynamiques des sociétés. L'anthroposystème se définit ainsi comme un système interactif entre deux ensembles constitués par un (ou des) sociosystème(s) et un (ou des) écosystème(s) naturel(s) et/ou artificialisé(s) s'inscrivant dans un espace géographique donné et évoluant dans le temps. Ces anthroposystèmes sont occupés, aménagés et gérés par les sociétés qui utilisent cet espace. On ne

peut envisager le futur de notre environnement sans l'homme et sans une nécessaire co-évolution à long terme qui suppose à la fois des adaptations et des compromis. Après tout, c'est ce que nous enseigne la théorie de l'évolution !

La flèche du temps : des cours d'eau sur trajectoires

Les écologues et les gestionnaires des milieux naturels ont longtemps privilégié les notions d'équilibre ou de stationnarité. Même si l'équilibre de la nature n'existe pas, nous aimons croire qu'il en est ainsi (Lévêque, 2013). Il est vrai que, sur de courtes périodes, on peut avoir l'impression d'une certaine stabilité. Après tout, le cycle saisonnier se répète plus ou moins à l'identique. Mais, sur le long terme, les recherches en paléo-écologie ou les suivis à long terme nous montrent que les systèmes écologiques se transforment. Les changements difficilement perceptibles sur de courtes périodes de temps, peuvent devenir apparents quand les périodes d'observation sont assez longues. C'est ce que l'écologue américain John Magnuson (1990) appelait le « présent invisible ».

La mutation de l'écologie vers une écologie du changement, et non de l'équilibre, est en cours, mais elle est difficile. Plusieurs concepts de l'écologie scientifique, sous des formes nuancées, sont porteurs de l'idée d'équilibre de la nature. Et le public, les médias, les ONG et certains scientifiques, utilisent encore ces concepts obsolètes de climax, résilience, stationnarité, etc. Certes désacralisée, l'idée d'une nature immuable reste encore vivace. On parle souvent d'équilibre et de stabilité des écosystèmes, avec en contrepoint l'idée que les perturbations d'origine anthropique créent des « déséquilibres » et que le système, tel un ludion, peut retrouver un état antérieur quand la perturbation s'interrompt.

Or les scientifiques ont montré que les hydrosystèmes ne fonctionnent pas à l'équilibre. C'est la variabilité spatiale et temporelle qui est de mise, en réponse à la variabilité hydrologique

et climatique. La variabilité temporelle, vue sous l'angle des cycles journaliers et annuels, ainsi que la variabilité interannuelle, sont des éléments clés du fonctionnement des systèmes fluviaux. Les crues jouent ainsi un rôle majeur en permettant, par exemple, de rétablir épisodiquement des connectivités entre divers milieux du lit majeur (voir chapitre 10). Les épisodes hydrologiques exceptionnels (sécheresses, crues) sont des perturbations dont les effets peuvent se faire sentir sur le long terme. Il faut ajouter à cela que les différents compartiments ne réagissent pas à la même vitesse. Ainsi, les eaux superficielles réagissent très rapidement aux précipitations, alors que les eaux souterraines, dont l'écoulement est beaucoup plus lent, réagissent avec retard. Cette question des « effets retard » concerne également les composantes biologiques de l'hydrosystème : les peuplements bactériens composés d'espèces dont le cycle biologique est de quelques heures réagissent beaucoup plus rapidement aux changements du milieu que les peuplements végétaux dont la longévité des espèces est de quelques décennies.

Ces fluctuations temporelles s'accompagnent de fluctuations spatiales. Des débits élevés provoquent par exemple un déplacement de sédiments qui induit la formation de nouveaux habitats simultanément à la destruction d'autres habitats. En permanence, les variations du niveau de l'eau font et défont les biotopes et les peuplements qui leur sont associés. De nombreuses espèces ont développé des stratégies adaptatives leur permettant d'utiliser au mieux cette variabilité spatio-temporelle qui doit être considérée, non pas comme une série de perturbations, mais bien comme un paramètre structurel du fonctionnement des hydrosystèmes.

Ces dernières décennies, de nombreux travaux ont permis de mieux connaître l'histoire passée des cours d'eau. Par opposition, la connaissance du futur est un domaine de recherche encore peu exploré. Or les scientifiques sont souvent interpellés pour éclairer la prise de décision autour de deux questions en rapport avec le temps :

- le passé : trouver un état passé de référence pour évaluer les changements observés dans le système étudié ; ou quel état de référence avant dégradation peut-on se fixer en matière de restauration ; comprendre quels ont été les facteurs historiques responsables de la situation présente ;
- le futur : que se passera-t-il si... on fait un aménagement, on exploite un milieu ou une ressource, etc. C'est la prévision qui n'est réellement opérationnelle qu'à court terme. On est plus gêné quand on aborde le long terme étant donné que les événements aléatoires peuvent modifier considérablement les tendances observées quant à l'évolution actuelle du système. Il faut alors recourir à la prospective, qui n'est pas la prévision, mais une manière d'imaginer quelles pourraient être les situations futures.

Les perspectives de restauration ne peuvent plus se donner comme objectif le retour à une situation historique (Hobbs *et al.*, 2009). Il n'y a pas de retour sur image possible dans un monde en perpétuel changement ! D'ailleurs est-ce toujours souhaitable ou souhaité ? La dynamique des anthroposystèmes, comme celle des hydrosystèmes, s'inscrit sur une trajectoire qui a un passé que l'on peut analyser et interpréter, et un futur qui comporte une part importante d'incertitude. La question qui se pose pour le futur est de savoir sur quelle trajectoire on souhaite inscrire éventuellement la dynamique du système. Quelle est la fenêtre de tir ? Avec aussi une forte interrogation : sommes-nous capables d'identifier la meilleure trajectoire dans un monde en évolution permanente ? Car ces trajectoires ne correspondent pas seulement à une extrapolation des conditions actuelles. Si le passé nous aide à comprendre le présent, le futur n'est en aucun cas le retour sur le passé.

Le paysage fluvial : une approche transdisciplinaire

Vu de l'espace, le cours d'eau et sa plaine alluviale constituent un ensemble hétérogène composé de systèmes écologiques très variés : prés, cultures, forêts, zones humides, lacs, bâtiments, etc.,

qui forment une mosaïque plus ou moins complexe. Cet ensemble correspond à un niveau d'organisation des systèmes écologiques supérieur à celui de l'écosystème : l'éco-complexe (Blandin *et al.*, 1988), un ensemble fonctionnel dans lequel les différentes composantes échangent et interagissent à différentes échelles de temps et d'espace.

« De multiples interdépendances physiques, chimiques, biologiques et humaines associent les divers écosystèmes d'un territoire, chacun devenant un élément d'un "système spatial" à l'échelle duquel il devient possible de développer une analyse structurale et fonctionnelle. Admettre l'existence de tels systèmes d'écosystèmes, c'est du coup poser le problème de leur délimitation sur le terrain. La solution n'est assurément pas unique. Elle peut être assez simple, lorsque les limites sont à l'évidence géomorphologiques, donc clairement inscrites dans l'espace : un bassin versant, avec au moins des dépendances amont-aval entre écosystèmes, en est un bon exemple. » (P. Blandin, 1992)

L'écologie du paysage s'attache à comprendre les relations existant entre la structure spatiale d'un paysage et son fonctionnement écologique. Un paysage est constitué d'une « matrice » qui représente en quelque sorte la trame de fond du paysage, dans lequel on observe des « taches » qui sont des systèmes écologiques relativement homogènes, avec des caractéristiques différentes de celles de la matrice. Ces taches peuvent être isolées ou reliées entre elles par des « corridors » qui assurent la circulation des espèces et des flux d'énergie.

Un autre concept important issu de cette approche est celui de métapopulation. Dans chacune des taches constituant le paysage vivent des espèces dont les populations évoluent plus ou moins indépendamment les unes des autres, selon le degré d'isolement de ces taches. Cette fragmentation peut entraîner, dans des situations extrêmes, un isolement génétique des populations et une dérive génétique qui peut conduire des populations à l'extinction. Si le concept de métapopulation a une réelle valeur heuristique, celui de dérive génétique reste très spéculatif.

Mais le paysage ne se résume pas à des entités écologiques. Les paysages sont également les témoins de l'occupation et de l'utilisation des espaces naturels par les hommes. Ils sont les témoins de pratiques rurales traditionnelles : « on peut considérer le corridor fluvial comme un ensemble de taches de végétation spontanée, le plus souvent inscrites dans une matrice agricole, dont la taille, la forme, la configuration sont variables dans le temps et dans l'espace » (Cossin et Girel, 2003). Le paysage alluvial, lieu de concentration des activités humaines, s'appréhende donc sous forme d'une organisation qui est la traduction visible et historique des relations entre les hommes et leur environnement.

Le paysage représente une forme de mémoire de la société, la résultante de divers facteurs d'évolution d'un territoire dont les temporalités sont diverses. L'activité humaine constitue sa principale dynamique de mutation. Comme il est par définition en perpétuelle transformation, on ne peut se satisfaire d'une vision statique du paysage : il est indissociable de la question du temps (Menguy, 2007).

L'approche transdisciplinaire de l'écologie du paysage s'est développée sous l'impulsion d'écologues et de géographes nord-américains et européens, confrontés dès 1980 à des problèmes d'aménagement et de gestion de territoires à l'échelle régionale. Depuis, le paysage fluvial est devenu un objet de gestion à part entière qui a été reconnu notamment par la loi sur l'eau de 1992 avec les Schémas directeurs d'aménagement et de gestion des eaux (Sdage) en 1997, puis par la Directive cadre sur l'eau.

Selon Gorham (1997), c'est une tâche redoutable « d'amener les spécialistes de sciences naturelles, sociales et humaines à mettre en commun leur connaissance et leur expérience pour résoudre les problèmes relatifs aux manipulations par l'homme des écosystèmes et des paysages ». Selon Décamps (2005), l'organisation hiérarchique des paysages alluviaux peut être simplifiée en deux niveaux principaux : le niveau naturel et le niveau culturel, ce dernier étant plus important que le premier. L'écologie du paysage s'inscrit

donc nécessairement dans la durée. Faire appel à l'histoire de l'environnement pour développer des pratiques de gestion de notre patrimoine biologique apparaît maintenant comme une évidence.

La notion de paysage concerne de manière générale les milieux terrestres. Cependant, pour les besoins de la restauration et de la gestion de l'habitat physique des cours d'eau, Céline Le Pichon s'est mis en tête d'adapter aux systèmes aquatiques les concepts de paysage développés en milieu terrestre. Un véritable travail de Romain... mais elle a réussi. Elle propose un mode de représentation cartographique des habitats des poissons utilisant un système d'information géographique (SIG) et des méthodes et outils d'analyse spatiale adaptés aux particularités des eaux courantes (Le Pichon *et al.*, 2006, 2007). Il s'agit notamment d'évaluer, dans un cours d'eau, la connectivité des habitats physiques nécessaires au poisson pour accomplir son cycle de vie. Cette connectivité dépend de la structure spatiale. Les paramètres pertinents pour définir les habitats piscicoles sont recueillis et stockés dans les couches d'un SIG, ce qui permet de générer une cartographie des habitats connaissant les préférences d'habitat des espèces considérées. On calcule ensuite la distance entre les différentes taches d'habitats cartographiées pour évaluer la connectivité fonctionnelle des habitats selon la dimension longitudinale du tronçon de cours d'eau étudié. L'étude de la structure spatiale des taches correspondant aux habitats vitaux ainsi que de la connectivité entre ces taches est une étape importante pour évaluer l'intégrité d'un cours d'eau et proposer des mesures de restauration.

Pour en savoir plus

Amoros C., Petts G.E., 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, Collection d'écologie.

Balian E., Lévêque C., Sengers H., Martens K. (eds), 2008. *Freshwater animal diversity assessment*. Springer.

Blandin P., 1992. De l'écosystème à l'écocomplexe. *In* Jollivet M. (éd)., *Entre nature et société, les passeurs de frontière*, p. 267-279. Éditions du CNRS.

Cossin M. et Girel J., 2003. De l'écologie du paysage à la perception paysagère des milieux ripicoles. *In* Piegay H., Pautou G. et Ruffinoni C. (eds), *Les forêts riveraines des cours d'eau (écologie, fonctions et gestion)*, chap. 11. Paris, éditions de l'Institut du développement forestier.

Décamps H., 2005. The "why" and the "so what" of riverine landscapes. *In* Wiens J.A., M. R. Moss (eds), *Issues and Perspectives in Landscape Ecology*, p. 248-256. Cambridge University Press.

Environnement Canada, 1996. L'approche écosystémique : au-delà de la rhétorique. Ottawa, Canada.

Global Water Partnership, 2000. Tool Box: Integrated Water Resources Management. Stockholm.

Gorham E., 1997. Human impacts on ecosystems and landscapes. *In* Nassauer J.L., *Placing Nature, Culture and Landscape Ecology*, p. 15-32. Washington et Covelo Island Press.

Hobbs R.J., Higgs E. et Harris J.A., 2009. Novel ecosystems: Implications for conservation and restoration. *Trends in Ecology et Evolution*, 24 (11) : 599-605.

Le Pichon C. *et al.*, juin 2007. Méthodes et outils d'analyse spatiale des habitats des poissons en contexte fluvial anthropisé. *Ingénieries*.

Lévêque C. et Van der Leeuw S. (eds), 2003. Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement. Elsevier, 324 p.

Lévêque C., 2013. L'écologie est-elle encore scientifique ? Éditions Quæ.

Magnuson J.J., 1990. Long-Term ecological research and the invisible present. *BioScience*, vol. 40, 7: 495-501.

Menguy B., 2007. Le paysage, outil de négociation et de sensibilisation. *In* Le paysage dans l'estuaire de la Seine. Partage des visions et des projets. Les rencontres de Seine-Aval, 25-26 octobre, Rouen (sur le web).

Millet C., 1871. *Les Merveilles des fleuves et des ruisseaux*. Librairie Hachette & Cie, coll. Bibliothèque des merveilles.

Le travail de l'eau : quand le fleuve fait son lit

« Et les dites eaux tombantes sur les dites montagnes au travers des terres et fentes descendent toujours et n'ont aucun arrêt jusque à ce qu'elles aient trouvé quelque lieu forcé de pierre ou rocher bien contigu. Alors elles se reposent sur un tel fond et ayant trouvé quelque canal ou autre ouverture, elles sortent en fontaine ou en ruisseau et fleuves selon que l'ouverture et les réceptacles sont grands et d'autant qu'une telle source ne se peut jeter (contre sa nature) aux montagnes, elle descend aux vallées... voilà en peu de paroles la cause des sources des fontaines, fleuves et ruisseaux, et il ne faut chercher nulle autre raison que celle-là. »

Bernard Palissy (1580)

Dans les rivières, l'eau s'écoule par gravité. Ce flux, variable dans le temps, est le moteur par excellence du fonctionnement morphologique et écologique du cours d'eau. L'eau érode, dissout, transporte ; l'eau crée et détruit en permanence des paysages et des habitats ; le cycle de l'eau, par la périodicité, l'intensité et la durée des crues et des étiages, contraint les cycles biologiques des espèces. Parler du fonctionnement de l'hydrosystème, c'est donc en premier lieu parler du fonctionnement hydrologique.

D'où vient l'eau des rivières

C'est évident mon cher Watson... Les rivières sont alimentées par des sources ! Oui mais d'où vient l'eau des sources ? En réalité, l'origine de l'eau des rivières fut une question longtemps controversée.

Dans l'Antiquité, certains observateurs s'interrogeaient fort intelligemment sur le fait que le niveau des océans ne s'élevait pas

d'avantage malgré l'apport incessant des fleuves. Ainsi, lit-on dans le Prologue de l'*Ecclésiaste* (975 av. J.-C.) : « tous les torrents vont à la mer, et la mer n'est pas pleine^[8] ». Les Égyptiens, quant à eux, étaient confrontés à une situation paradoxale qui avait tout pour induire les prêtres (détenteurs de la connaissance) en erreur : la crue du Nil a lieu en saison sèche et non en saison des pluies, puisqu'elle provient des précipitations sur les montagnes éthiopiennes.

Comment les Anciens expliquaient la crue du Nil

Les anciens Égyptiens, qui ne connaissaient pas les sources du Nil, croyaient que le *noun*, l'océan primordial, était encore présent autour de la terre et que c'est lui qui alimentait le Nil. Ils pensaient aussi, comme Thalès, que les vents d'été soufflant de la mer vers l'intérieur font refluer la masse des eaux du Nil, qui ne peuvent plus s'écouler vers la mer. Pour d'autres, il existait un Nil souterrain qui coulait durant la période des basses eaux du Nil terrestre. Hérodote critique ces théories et déclare que la crue est l'état normal du Nil, ce sont les basses eaux qu'il faut expliquer. Pour cela, il avance que l'hiver en Égypte (période des basses eaux) correspond à l'été à l'endroit où le fleuve prend sa source (l'Éthiopie désignait alors toutes les terres qui sont au sud de l'Égypte pour les Égyptiens). On expliquerait ainsi l'étiage par le manque d'eau résultant de la sécheresse sur les sources du Nil durant l'hivernage.

Si Hérodote se trompe, il a au moins le mérite de prendre en compte l'inversion des saisons entre le cours supérieur et le cours inférieur du Nil. C'est Démocrite (vers 420 av. J.-C.) qui avance l'hypothèse la plus proche de la réalité : il dit que les vents étésiens poussent vers les massifs éthiopiens les nuages qui se sont formés en Europe, où ils produisent des pluies abondantes qui gonflent le Nil, expliquant ainsi la crue du fleuve. Aristote (VI^e siècle av. J.-C.) reprend cette théorie dans son traité *Sur l'inondation du Nil* : la crue s'explique par les pluies violentes qui s'abattent sur l'Éthiopie en été.

Dans la Grèce antique, on se posait aussi cette question : d'où vient l'eau des rivières ? L'hypothèse d'un cycle souterrain de l'eau, soutenue par Platon (428-348 av. J.-C.), affirme que la mer est à l'origine des eaux. Des tréfonds de la Terre, elle remonte par capillarité jusqu'au plafond des grottes qui composent le sous-sol ; les rivières ainsi formées s'en vont vers l'océan (figure 5.1). « Toutes les eaux communiquent entre elles par des canaux souterrains, et toutes ont leur principe et leur source dans ce qu'on appelle le tartare, masse d'eau placée au centre [de la Terre]... C'est cette eau primordiale et initiale qui est la cause de l'écoulement de chaque courant, en raison de sa perpétuelle agitation, car elle n'a pas de

base, mais elle oscille toujours autour du centre. Son mouvement de montée et de descente, c'est ce qui emplit les cours d'eau » (Platon, d'après la traduction de Tricot en 1955, cité par Lhote, 1990). La fréquence des phénomènes karstiques en Grèce peut avoir joué un rôle dans cette conception.

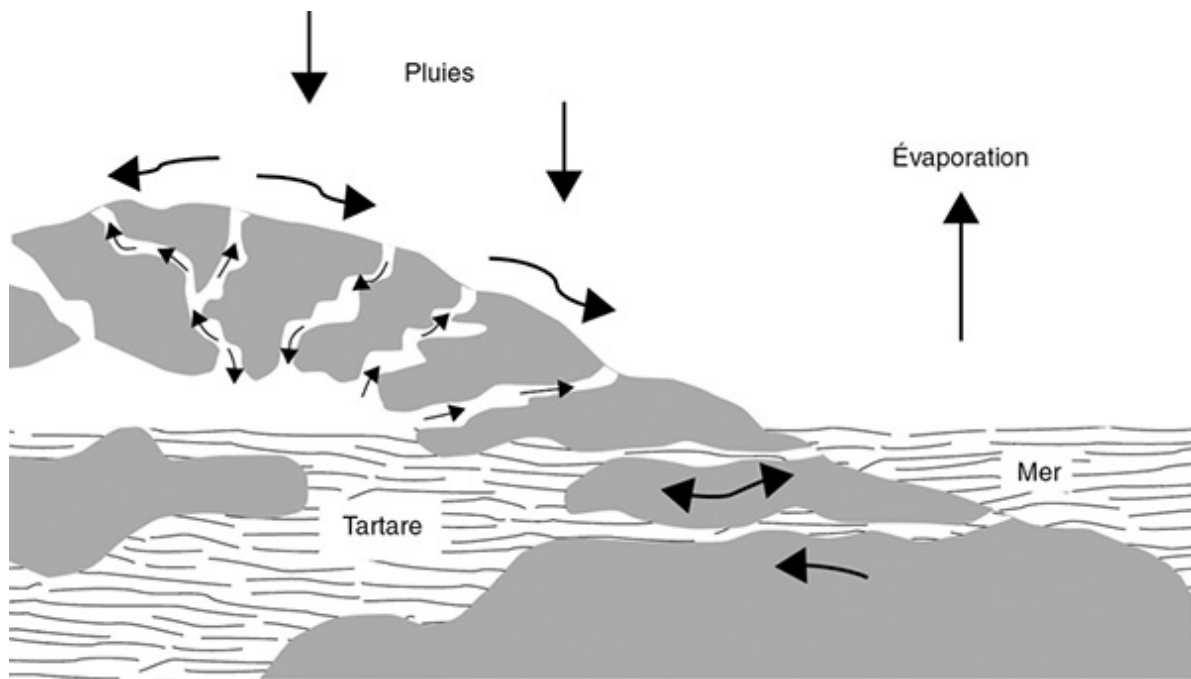


Figure 5.1 Le cycle de l'eau : l'hypothèse du Tartare selon Platon.

Aristote (384-322 av. J.-C.) conteste la théorie du maître et propose une autre hypothèse. L'eau de mer, après dessalement dû à un long parcours sous terre, s'évaporerait du fait de la chaleur engendrée par le centre de la Terre, puis se condenserait dans des cavités froides, pour venir alimenter ensuite sources et rivières. Aristote explique également qu'après évaporation sur la mer, les nuages forment la pluie qui est à l'origine des rivières, par l'intermédiaire des réservoirs souterrains. Aristote sera suivi par de nombreux adeptes dont Sénèque. « ...l'eau, élevée par le soleil, et retombée en pluie, s'amasse sous la terre d'où elle s'écoule comme d'un grand réservoir qui est, soit unique pour toutes les rivières, soit particulier à chacune d'elles. De là vient aussi que les rivières coulent plus abondamment en hiver qu'en été, et que certaines sont intarissables et d'autres intermittentes » (Aristote d'après la traduction de Tricot, 1955).

Les Romains, eux, sont aussi sensibles à l'origine atmosphérique de l'eau des rivières. Lucrèce (98-55 av. J.-C.), dans son *De Natura Rerum*, évoque le cycle atmosphérique de l'eau avec évaporation, formation de nuages et pluies : « l'eau est rassemblée près des hautes vallées des rivières, d'où elle nourrit les flots coulant à travers la terre ».

Notre gloire nationale, Bernard Palissy, est le premier à décrire explicitement le cycle de l'eau. Dès 1580, dans son *Discours admirable de la nature des eaux et fontaines*, il suggère que l'écoulement des rivières est dû aux chutes de pluies et non pas à la mer condensée dans les cavités terrestres.

« Il faut que tu croies fermement que toutes les eaux qui sont, seront et ont été, sont créées dès le commencement du monde. Et Dieu ne voulant rien laisser en oisiveté, leur commande d'aller, venir et produire. Ce qu'elles font sans cesse, comme j'ai dit que la mer ne cesse d'aller et venir. Pareillement les eaux de pluies qui tombent en hiver remontent en été pour retourner encore en hiver, et les eaux et la réverbération du soleil et la fixité des vents frappant contre la terre fait élever grande quantité d'eau ; laquelle étant rassemblée en l'air et formée en nuée, sont parties d'un côté et d'autre comme hérauts envoyés de Dieu. Et les vents poussant les dites vapeurs, les eaux retombent par toutes les parties de la terre et quand il plaît à Dieu que ces nuées (qui ne sont autres qu'un amas d'eau) se viennent à dissoudre, les dites vapeurs sont converties en pluies qui tombent sur la terre. » (Palissy, 1580)

Pierre Perrault (1611-1680) est le premier à exploiter les nouvelles possibilités scientifiques des statistiques. Il établit que le volume d'eau tombé chaque année sur un petit bassin fluvial est six fois supérieur à celui charrié par la rivière pendant le même temps. Puis l'abbé Edmé Mariotte (1620-1684) calcule à son tour la quantité d'eau moyenne tombée par an sur le bassin de la Seine et conclut « qu'il est donc manifeste que quand le tiers des eaux de pluie s'évaporerait, un tiers maintiendrait la terre mouillée dans les grandes plaines, un tiers serait encore suffisant pour alimenter les fontaines et les rivières ». Pourtant, l'idée des eaux centrales s'impose encore au XVII^e siècle, car elle s'appuie sur les traditions (Tartare d'Homère, Abîme de la Bible) et s'inscrit bien dans la nouvelle théorie astronomique de la sphéricité de la Terre. Le mathématicien Alexis

Clairaut (1713-1765) et Georges Buffon (1707-1788) mettent finalement en évidence en 1743 que le cycle de l'eau ne peut qu'être atmosphérique. Mais en réalité il faudra attendre le début du xx^e siècle pour que soient mises au point des mesures hydrologiques incontestables...

M. Halley a fait voir, n° 192 des *Transactions philosophiques*, que les vapeurs élevées de la surface de la mer, et transportées par le vent sur la terre, sont plus que suffisantes pour former toutes les rivières et entretenir les eaux qui sont à la surface de la terre. M. de Buffon, dans le premier volume de son *Histoire naturelle*, p. 356, trouve par un calcul assez plausible, que dans l'espace de 812 ans toutes les rivières ensemble rempliraient l'Océan : d'où il conclut que la quantité d'eau qui s'évapore de la mer, et que les vents transportent sur la terre pour produire les ruisseaux et les fleuves, est d'environ les deux tiers d'une ligne par jour, ou 21 pouces par an ; ce qui est encore au-dessous des 29 pouces dont on vient de parler, et confirme ce que nous avançons ici, que les vapeurs de la mer sont plus que suffisantes pour produire les fleuves. (d'après l'*Encyclopédie* de Diderot)

Cette histoire, au-delà de son intérêt anecdotique, est intéressante à deux points de vue :

- elle nous montre que la connaissance scientifique peut faire l'objet d'un très long processus d'élaboration, et qu'elle est fortement dépendante des outils dont on dispose ;
- elle nous montre aussi que les idées reçues ont la vie dure, et qu'il faut beaucoup de temps pour s'en débarrasser. On pense, de nos jours, aux principes d'équilibre et de stationnarité qui sont toujours d'actualité en écologie et en hydrologie, alors que nous avons de nombreuses preuves que ces principes sont inexacts.

Des régimes hydrologiques sous influence climatique

Les cours d'eau ont une fonction écologique essentielle : évacuer les eaux de pluie qui ruissellent et drainer les sols. Mais le régime hydrologique dépend étroitement du volume des précipitations tombant sur le bassin versant et de sa répartition quantitative au cours de l'année. Les cours d'eau sont donc des systèmes écologiques caractérisés par une forte variabilité saisonnière et

interannuelle, qui va contraindre à son tour le système biologique. On peut dire que le régime hydrologique est le moteur du fonctionnement des systèmes fluviaux.

Les précipitations et leur devenir

Les précipitations ont une répartition très inégale sur la planète. Suivant la zone géographique, il peut pleuvoir de 10 à 3 000 mm par an. La pluviométrie moyenne en France est de 800 mm par an. Les régions les plus sèches se trouvent en plaine (Chartres, Marignane) avec une pluviométrie moyenne de 600 mm. Les régions les plus arrosées se situent essentiellement sur les reliefs, avec une pluviométrie annuelle moyenne supérieure à 1 200 mm. En moyenne, seulement 40 % de l'eau qui tombe alimente nos rivières par ruissellement sur le sol et/ou *via* les nappes phréatiques. Le reste est évaporé ou consommé par la végétation.

La forêt attire-t-elle la pluie ?

Il traîne ici et là dans la littérature cette idée que la forêt attirerait la pluie. Si certaines observations anciennes avaient pu le laisser penser, on estime maintenant que ce n'est pas le cas en général, et que l'influence des massifs forestiers sur les précipitations est négligeable. À grande échelle cependant, comme en Amazonie, l'eau évaporée par la forêt pourrait jouer un rôle : selon certains climatologues, la suppression du couvert forestier aurait pour conséquence la diminution du stockage de l'eau dans les sols, et donc de l'évaporation, entraînant une baisse significative des précipitations. Mais ces résultats sont contestés. En outre, la question est peut-être mal posée : si la forêt est là, ce n'est pas parce qu'elle attire la pluie, mais parce qu'il pleut suffisamment pour qu'elle puisse se développer. Le classique problème de l'œuf et de la poule !

En revanche, une rivière qui draine un bassin boisé aura un débit moins important qu'une rivière drainant un bassin non boisé car les feuilles des arbres interceptent une partie des précipitations qui s'évapore avant d'atteindre le sol, et la forêt consomme plus d'eau que les autres types de végétation. On a la preuve indirecte de la rétention d'eau par les forêts, puisque le déboisement entraîne généralement une augmentation des débits et des crues.

Le ruissellement de surface réagit rapidement aux apports par les pluies : lors des averses, les eaux s'écoulent sous forme d'un réseau dense de ravines et de petits ruisseaux pour gagner rapidement les rivières. Mais le ruissellement dépend également du couvert végétal :

il est plus important sur des sols nus, dépourvus de végétation, que sur des sols couverts de végétation. C'est pourquoi le déboisement entraîne des crues plus rapides et plus importantes en facilitant le transfert des eaux de ruissellement. Et il facilite en conséquence l'érosion des sols.

Une autre partie des précipitations s'infiltre dans les sols et chemine horizontalement dans les couches supérieures du sol pour réapparaître éventuellement dans un chenal d'écoulement. Cet écoulement hypodermique dépend de la structure du sol et de la présence ou non de couches imperméables. Ayant tendance à ralentir le cheminement de l'eau, il a pour conséquence d'allonger la durée de la crue.

Eau bleue, eau verte

La distinction eau bleue/eau verte a été proposée par Falkenberg en 1995.

L'eau « bleue » est celle qui s'écoule dans les rivières jusqu'à la mer, celle qui se trouve dans les lacs, qui est captée dans les nappes souterraines, qui s'écoule dans les cours d'eau. L'eau « verte » est l'eau qui est contenue dans le sol et qui est disponible pour les plantes. Quand il pleut, une fraction de l'eau qui atteint le sol contribue à l'eau bleue (par ruissellement superficiel et par percolation vers les nappes d'eau souterraine), alors que le reste, estimé à 60 % du total des précipitations, constitue l'eau verte. L'eau bleue est transformée en eau verte par l'irrigation ; l'eau verte est transformée en eau bleue par le drainage des sols.

Selon la géologie et la structure du sol, une fraction des précipitations atteint la nappe phréatique dans laquelle elle va transiter à une vitesse très réduite, cette fois : de quelques mètres à quelques millimètres par an. Les nappes phréatiques vont, à leur tour, contribuer à alimenter les sources et les rivières, principalement en période de basses eaux, qui correspond le plus souvent à la période où les pluies sont rares, contribuant ainsi à maintenir un écoulement de base dans les cours d'eau. C'est grâce à cette alimentation d'origine phréatique que les cours d'eau n'arrêtent pas de couler. Dans les régions arides où les nappes de surface n'existent pas, l'écoulement des cours d'eau s'interrompt en l'absence de pluies, ce qui a bien entendu des conséquences importantes sur l'écologie de ces milieux.

La variabilité annuelle des débits

Le débit des cours d'eau, fortement influencé par les phénomènes météorologiques, est très variable et difficilement prévisible à moyen et long terme puisqu'il dépend des variations du climat. Le régime hydrologique décrit, par une approche statistique, les variations dans le temps du débit des rivières, qui est le volume d'eau, exprimé en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$, passant durant un temps donné à travers la section de la rivière. Les régimes hydrologiques se caractérisent par des périodes de crue et d'étiage. Étiages et crues définissent en réalité les formes extrêmes de l'écoulement, et se caractérisent par leur fréquence, leur durée et les valeurs des débits écoulés exceptionnellement faibles ou élevés.

Le débit moyen annuel d'un fleuve est la moyenne annuelle des débits instantanés ou journaliers. L'Amazone, le Congo et le Yangzi Jiang, l'Orénoque et le Brahmapoutre sont les fleuves qui ont le plus fort débit (tableau 5.1). À eux cinq, ils représentent environ le quart de l'écoulement fluvial à la surface du globe.

On distingue quatre grands types de régimes en Europe :

- le régime pluvio-océanique ou atlantique, caractérisé par un débit maximal en fin d'automne ou en hiver et des variations saisonnières relativement modérées. C'est le cas pour des fleuves comme la Seine, essentiellement alimentée par les eaux de pluies ;
- le régime nival de montagne pour les rivières, comme le cours supérieur du Rhin, qui sont surtout alimentées par la fonte des neiges. La période de hautes eaux se situe à la fin du printemps et au début de l'été ;
- le régime glaciaire caractérise les rivières fortement influencées par la fonte des glaciers, comme le cours supérieur du Rhône. Le débit est maximal en juillet-août et minimal en hiver ;
- le régime nival de plaine ou continental pour les rivières d'Europe continentale, dont les plus forts débits sont observés lors du dégel du printemps.

Dans les régions tropicales, notamment en Afrique, le régime tropical est un équivalent du régime atlantique, avec une période des hautes eaux correspondant à une saison des pluies unique et estivale, suivie par une période d'étiage assez sévère. Le régime équatorial, par contre, se caractérise par un débit assez fort toute l'année avec deux périodes de crues correspondant au régime des pluies.

Tableau 5.1. Chiffres de la longueur, de la superficie du bassin versant (en millions de km²), des flux d'eau en moyenne annuelle (km³/an), des flux de matières solides et de matières dissoutes (en millions de t/an) pour quelques fleuves français et les grands fleuves mondiaux. (d'après de Marsily, 2009)

Fleuve	Longueur (km)	S du BV (Mkm ²)	Débit moyen (km ³ /an)	Charge solide (Mt/an)	Charge dissoute (Mt/an)
Garonne	645	0,06	17,2	2,2	3,9
Loire	1 000	0,11	28,4	7,8	6,1
Rhône	810	0,10	59,9	31	18,3
Rhin	1 233	0,22	69,4	3,4	60,5
Seine	775	0,08	15,8	0,7	7,7
Amazone	6 570	6,1	6 590	1200	287
Congo	4 700	3,7	1 200	22,8	42,5
Gange	2 525	1, 05	493	520	91,5
Yang Tsé	6 300	1,8	928	480	192,9
Danube	2 870	0,8	6 500		
Nil	6 690	3,4	2 800		

Dans les bassins versants de grande taille, la montée des eaux est lente, en général, et il en est de même pour la décrue. À l'inverse, les

crues violentes de courte durée (ou *flash floods*) sont liées à des précipitations brutales, orageuses, s'abattant sur des petits bassins à pente forte (chapitre 10). C'est le cas des « crues cévenoles » qui résultent des précipitations brutales de nuages provenant de la mer et se retrouvant bloqués par les Cévennes. Les précipitations orageuses d'origine méditerranéenne, qui surviennent surtout en automne et qui défraient régulièrement la chronique, sont quant à elles des phénomènes dits de « goutte froide », et non pas des crues cévenoles. En effet, lorsque la terre se refroidit plus vite que la mer, il y a un contraste entre les masses d'air froid en altitude et des masses d'air chaud et humide provenant de l'évaporation de la mer. La rencontre des deux crée une « bombe thermique » qui arrive sur les côtes et se déverse sous forme de précipitations importantes. Ainsi, le 29 septembre 2014, Montpellier a vécu un véritable cataclysme, car il est tombé en trois heures l'équivalent de ce qui tombe habituellement en cinq mois.

La variabilité interannuelle des débits

Les débits des fleuves sont variables d'une année sur l'autre, car ils dépendent des fluctuations climatiques. À l'échelle du siècle, on dispose de données qui montrent l'existence de périodes sèches ou humides. Ainsi, pour différents fleuves français qui ont eu des variations interannuelles similaires du débit, on observe une longue période de relative sécheresse entre 1941 et 1959, précédée et suivie d'une période humide (figure 5.2).

En Afrique tropicale, il y a eu également des changements importants du débit des fleuves sahéliens au xx^e siècle, à l'exemple du fleuve Niger. La sécheresse des années 1970-1980 a été la plus importante du siècle. La diminution des débits du fleuve Chari a eu pour conséquence une forte réduction des apports en eau au lac Tchad et l'assèchement de la majeure partie du lac qui occupait pourtant plus de 20 000 km² en 1965.

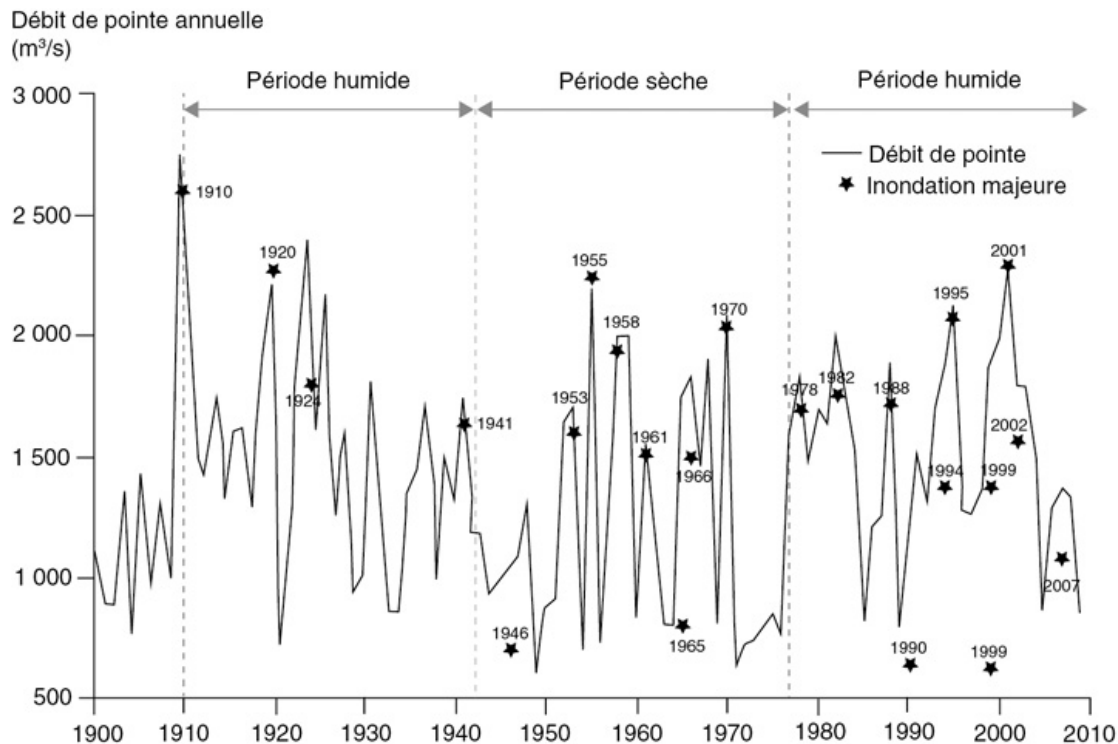


Figure 5.2 Variations interannuelles du débit de pointe de la Seine (en $\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$) montrant l'alternance de périodes sèches et humides et les principales inondations. (source : GIP Seine-Aval)

À l'échelle du millénaire, les fluctuations climatiques et leurs répercussions sur les débits des fleuves sont encore plus importantes. Ainsi le bassin du fleuve Niger est-il réduit à l'heure actuelle à environ la moitié de la superficie qu'il occupait il y a cinq mille à six mille ans, lorsque le climat était beaucoup plus humide qu'aujourd'hui sur l'Afrique de l'Ouest. Le Niger était alors alimenté par des fleuves venant de l'Aïr et du Tibesti dont on ne retrouve à l'heure actuelle que des vallées fossiles. À cette époque, le Sahara était d'ailleurs couvert de lacs, et le paysage devait plutôt ressembler à celui de la zone soudanienne actuelle. Les peintures rupestres retrouvées dans le Hoggar et l'Aïr attestent en effet qu'une riche faune terrestre habitait cette région il y a cinq mille à six mille ans.

Les hydrologues essaient de formaliser la variabilité interannuelle des débits par une analyse statistique des séries temporelles passées. Pour cela, ils considèrent que précipitations et débits sont des

phénomènes stationnaires, c'est-à-dire que leur distribution statistique ne change pas au cours du temps. C'est ainsi que l'on définit des crues décennales ou centennales, qui ne se reproduisent pas systématiquement tous les dix ou cent ans mais dont la probabilité de retour est de dix ou cent ans. On agit ainsi en faisant l'hypothèse que les lois que l'on peut déduire des observations passées sont utilisables pour le futur, et donc que les conditions climatiques ne changent pas. Ce qui, on le sait, est discutable !

Le cycle érosion-transport-sédimentation

Les capacités d'érosion des cours d'eau sont considérables, et les rivières au cours rapide jouent un rôle important dans l'évolution du paysage. Elles peuvent creuser des vallées profondes, parfois de véritables canyons bordés de falaises verticales, comme dans les gorges du Verdon (figure 5.3) où elles atteignent 700 mètres de haut. Le cycle érosion-transport-sédimentation est l'un des processus fondamentaux du fonctionnement des systèmes fluviaux. C'est lui qui crée et modifie en permanence la morphologie de la rivière, ainsi que les différents habitats qui accueilleront la biodiversité, sous l'action combinée du climat, de la nature des roches et de la pente.



Figure 5.3. Les gorges du Verdon (ici au niveau de la falaise dite des Cavaliers) sont le résultat d'une érosion intense depuis 5 millions d'années, par des rivières tumultueuses, de massifs calcaires datant du Jurassique (120-150 millions d'années). (photo C. Lévêque)

Les gorges du Verdon, étroites et profondes (de 250 à 700 mètres de profondeur) sont réputées pour former le plus beau canyon d'Europe.

À l'amont, l'eau érode et dissout, puis transporte les éléments arrachés ou en solution et les dépose parfois très loin lorsque son énergie cinétique diminue. Mais la taille des matériaux transportés et le mode de transport des sédiments évoluent sensiblement de l'amont vers l'aval en fonction des conditions d'écoulement (turbulence, vitesse du courant), des modifications de la pente et de la nature des roches. Le débit solide correspond aux matériaux fins et grossiers transportés. On distingue ce qui est la charge de fond, c'est-à-dire les éléments grossiers roulés ou charriés par sauts successifs, ou encore traînés sur le fond, et dont la mobilité est réduite, des sédiments fins qui circulent en suspension, à la vitesse de l'eau. Les temps de transit sont donc très différents : environ

100 km par jour pour les matériaux en suspension, mais plusieurs décennies pour faire 100 km en ce qui concerne les matériaux grossiers dans le Rhône.

La charge en matières en suspension transportée par les fleuves est fonction de la nature des sols sur le bassin versant, et de leur mode d'occupation. Chaque année, le Rhône reçoit en moyenne près de 320 tonnes de matériaux pour chaque kilomètre carré de son bassin fluvial, et apporte plus de 30 millions de tonnes de matériaux à la Méditerranée. Au contraire, la Seine ne reçoit en moyenne qu'une dizaine de tonnes par kilomètre carré de bassin versant. Le Gange et le Brahmapoutre, qui descendent de l'Himalaya, arrachent chaque année 1 500 tonnes de terre par km² de leur bassin versant. L'Amazone n'érode que 70 tonnes de matériaux par kilomètre carré, et le Danube la moitié. Il y a donc des variations importantes dans les caractéristiques érosives des fleuves. À l'échelle mondiale, les taux d'érosion des MES (teneurs de matières en suspension) varient entre 2 et 2 150 tonnes/km²/an et on estime que l'érosion mécanique pour l'ensemble du globe serait, au total, de l'ordre de 15 109 tonnes par an.

La Camargue, fille de l'érosion des bassins versants

La Camargue est la partie émergée de l'actuel delta du Rhône. Le littoral, à l'époque romaine, se situait à une dizaine de kilomètres en arrière de la ligne de côte actuelle. L'avancée du littoral, de 10 à 20 km depuis six mille ans, est due aux apports alluviaux du Rhône.

La dernière avancée importante du delta est associée au Petit Âge glaciaire (xvi^e-xix^e siècle), au cours duquel une démographie rurale importante sur les versants alpins et le développement du pastoralisme ont entraîné un important déboisement qui a eu pour conséquence une érosion accrue des sols, notamment en Lozère, et un apport massif de sédiments par le Rhône. Cette sédimentation a fortement contribué à la construction de la Camargue et explique aussi l'envasement du port lagunaire d'Aigues-Mortes, où saint Louis s'était embarqué pour la croisade en 1248. Le reboisement des massifs à la fin du xix^e siècle a, par la suite, réduit l'érosion, donc les apports en sédiments.

La réduction des apports s'est amplifiée au xx^e siècle du fait de la politique d'équipement hydraulique du Rhône et de la construction de nombreux barrages. L'essentiel des transports sédimentaires en suspension s'effectue par le grand Rhône, lors des crues. Au début du xx^e siècle, la charge solide annuelle estimée pour le grand

Rhône était de 17 106 m³/an, alors qu'elle était tombée, en 1970, à 2 106 m³/an. Cette diminution du débit solide du Rhône a entraîné une forte baisse du taux de sédimentation dans le delta. Les dépôts de sédiments à l'embouchure se réduisent depuis la fin du XIX^e siècle : évalués à 3 millions de m³/an entre 1895 et 1934, ils ne sont plus que de 530 000 m³/an entre 1995 et 2006, soit une diminution d'un facteur 5.

En d'autres termes, l'activité humaine *via* la déforestation et l'érosion des sols a permis, au XIX^e siècle, l'extension de la Camargue *via* une sédimentation active. Depuis cette époque, la construction de barrages a réduit considérablement les apports en sédiments (90 % de la charge solide est maintenant retenue), de telle sorte que les apports ne compensent plus l'érosion marine et que le delta est, de nos jours, en voie de récession. Néanmoins, certains auteurs considèrent que les petits barrages pour un aménagement du fleuve en dérivation, construits au cours de la seconde moitié du XX^e siècle par la Compagnie nationale du Rhône (CNR) affectent peu, globalement, les transferts sédimentaires car ils permettent la circulation d'une partie de la charge de fond dans les Rhône court-circuités.

Quoi qu'il en soit, on s'interroge sérieusement sur les conséquences éventuelles de la remontée du niveau de la mer sur l'érosion de la Camargue, compte tenu de la faiblesse des apports sédimentaires.

L'érosion est plus importante sur les sols déboisés. Des textes du Moyen Âge contiennent déjà des doléances attribuant les ravages causés par les eaux et les progrès de l'érosion, aux « abus de jouissance des montagnards et au déboisement ». Dans la première moitié du XIX^e siècle, l'augmentation importante de la population rurale dans les zones de montagnes conduit à étendre les labours et à augmenter les troupeaux. Il en résulte un important recul de la forêt et une crise érosive qui se manifeste par des avalanches, des inondations et des sécheresses. En 1797, l'ingénieur Fabre publie un *Essai sur la théorie des torrents* pointant du doigt la déforestation responsable des inondations. Sous l'égide de l'administration forestière, et de manière un peu jacobine, se met alors en place un projet de grande envergure de protection des zones de montagne, d'abord mené de manière volontariste sans concertation avec les populations locales.

La loi de 1860 fait suite aux grandes inondations dans les Alpes de 1856 et 1859. Très coercitive, elle impose, en montagne, la constitution de périmètres de reboisement. Elle est suivie en 1864

par une loi sur le regazonnement des montagnes. Ces lois suscitent en retour de vives réactions, voire des révoltes, mais l'État a une mission d'intérêt public. « Je ne sais pas de plus noble mission que celle d'aider la nature à reconstituer dans nos montagnes l'ordre qu'elle avait si bien établi et que seuls l'imprévoyance et l'égoïsme des hommes ont changé en un véritable chaos » (Prosper Demantzey, cité par Plaisance, 1974). La loi de 1882 sur la restauration des terrains en montagne (RTM) introduit l'acquisition de terrains par l'État et leur prise en charge, notamment dans les massifs où la pression démographique a commencé à diminuer en raison de l'exode rural. Avec un taux de boisement voisin de 27 % et 15 Mha de forêts, la France a doublé sa surface forestière depuis le début du XIX^e siècle.

Actuellement, avec l'aménagement des fleuves, les sédiments sont bloqués en amont des barrages, et les deltas ne sont plus alimentés par les apports sédimentaires. Sous l'effet de l'érosion marine, ils subissent une érosion régressive avec modification du trait de côte, qui s'accompagne d'une salinisation des eaux, à l'exemple des deltas du Nil et du Rhône. L'accélération prévue de la montée du niveau de la mer laisse penser qu'une surface importante des zones deltaïques sera ainsi submergée d'ici la fin du siècle.

La recherche du profil idéal et l'incision des cours d'eau

Si toute la puissance d'une rivière n'est pas utilisée par les frottements ou par le transport des matériaux, elle est consommée dans l'érosion du substrat et la rivière creuse son lit. Inversement, si la vitesse diminue et que la charge dépasse les possibilités de transport, la rivière va alluvionner. Les plus gros blocs sont déposés en premier, et le lit est théoriquement formé de matériaux d'autant plus fins qu'on se dirige vers l'aval. Entre le niveau de base qui est le point le plus bas du cours d'eau (celui où il débouche à la mer, ou celui où il rejoint un confluent) et sa source, la rivière travaille de manière à ce qu'il y ait équilibre en chaque point de son lit, entre sa

puissance et sa charge, entre l'érosion et le dépôt. Autrement dit, par creusement ou par dépôt de matériaux, un cours d'eau tendrait à atteindre un profil idéal, un profil d'équilibre, tel que l'énergie dont il dispose lui permette d'évacuer intégralement vers l'aval la charge de matériaux qui vient de l'amont sans qu'il n'y ait ni érosion, ni accumulation. Ce profil d'équilibre est une pente continue, concave, décroissante de l'amont vers l'aval.

Le profil d'équilibre des géomorphologues est un peu l'équivalent de l'équilibre des écosystèmes des écologues. C'est un paradigme qui a suscité beaucoup de travaux et présente un intérêt opérationnel, mais l'idée même d'équilibre est évidemment peu crédible. Il y a ajustement permanent, à des échelles de temps variées, qui conduisent à des alternances d'érosion et de sédimentation (Bravard, 1998). Dans la réalité, un état d'équilibre n'est jamais atteint car l'écoulement varie plus vite que l'ajustement géomorphologique, et les diverses composantes morphologiques du chenal ne réagissent pas toutes à la même vitesse. Le long d'un cours d'eau, il y a en effet une succession de secteurs où l'érosion est active, et de secteurs d'accumulation. Comme en écologie, on désigne sous le nom d'« équilibre dynamique » cet ajustement permanent de la morphologie de la rivière en réponse aux variations de l'écoulement et du transport de sédiments.

Les variations du niveau de base peuvent entraîner des modifications du lit fluvial. Si le niveau de base s'abaisse, par exemple, il y a augmentation du dénivelé et donc du courant, ce qui entraîne une reprise d'érosion qui se propage de l'aval vers l'amont. Inversement, lorsque le niveau de la mer monte, le fleuve perd de sa puissance et sédimente. On ne doit pas oublier qu'il y a quinze mille ans le niveau de la mer était à 120 m sous le niveau actuel, les rivières ont connu une période de creusement active, suivie d'une autre période de sédimentation tout aussi active quand le niveau de la mer a remonté. Cela explique par exemple l'existence des rias dans les fleuves bretons, qui sont des estuaires entaillés par l'érosion et ont été envahis lors de la remontée du niveau de la mer.

L'extraction massive de matériaux alluvionnaires dans le lit mineur des cours d'eau remonte à la deuxième moitié du XIX^e siècle (Bravard et Malavoi, 2000). Elle concernait des volumes qui pouvaient atteindre plusieurs millions de mètres cubes pour la construction de digues (sur la Drôme, par exemple) ou de remblais de ligne de chemin de fer, mais qui restaient supportables. Les besoins de reconstruction, au cours des Trente Glorieuses et le développement des réseaux routiers et ferrés, ont suscité une forte demande de sables grossiers pour le béton et de matériaux grossiers pour les assises des routes et le ballast des voies de chemin de fer. Il en est résulté des extractions massives, notamment près des villes, dans le lit mineur des fleuves, avec des phénomènes d'érosion régressive et une incision généralisée des lits des fleuves compte tenu de l'étendue de l'exploitation (figure 5.4).



Figure 5.4 Extraction de graviers.

Le béton armé, inventé en 1870, est composé pour 2/3 de sables et graviers, longtemps prélevés en grande quantité dans le lit des fleuves.

Les impacts les plus connus de ces processus d'incision sont :

- l'abaissement du niveau des nappes phréatiques alluviales et ses effets indirects, comme l'assèchement des écosystèmes riverains ;
- le déchaussement d'ouvrages d'art (ponts, digues, protections de berges, etc.) ;
- une érosion accrue des berges ;
- une modification de la nature des fonds, voire une mise à nu du substratum rocheux, avec des répercussions sur les biocénoses aquatiques et ripariales (se développant sur les bancs alluviaux mobiles), dont le substrat alluvial constitue un habitat privilégié.

L'effondrement spectaculaire du pont Wilson (le plus vieux pont de Tours) en 1978 a agi comme un révélateur des impacts hydromorphologiques des extractions de granulats. En avril 1978, cinq piles et six arches s'effondrent, soit un tiers du pont. À la suite de cet effondrement, 110 000 personnes se retrouvent sans eau courante à Tours, une importante canalisation se trouvant dans le tablier du pont.

Depuis le début du xx^e siècle, la réduction de la charge solide a entraîné l'incision de nombreux cours d'eau. Si les extractions de granulats en sont souvent rendus responsables, de nombreux autres facteurs anthropiques (curages et dragages pour la navigation ou l'écoulement des eaux, barrages et seuils) ont également contribué à ce phénomène, variable néanmoins selon les types de cours d'eau et les régions. Il semble en particulier que le curage des rivières a donné lieu à de nombreux abus^[9]...

Devant ce constat, l'État a demandé aux exploitants, à la fin des années 1970, de déplacer leur activité dans le lit moyen, ce qui a été à l'origine des nombreuses gravières parsemant maintenant le lit majeur des fleuves. Ces carrières ne sont cependant pas sans effet sur la dynamique des cours d'eau, du fait de la disparition d'un stock alluvial important.

Quelques chiffres

Le granulat est un ensemble de grains de dimensions comprises entre 0 et 125 mm destinés à la construction. Environ un million de tonnes de granulats de toutes origines sont utilisés chaque jour sur l'ensemble du territoire français. Ces extractions représentent annuellement plusieurs décennies d'apports naturels.

- Bassin de la Loire : le volume des matériaux extraits des cours d'eau atteignait 12 millions de tonnes par an à la fin des années 1970, contre 150 000 tonnes vers 1860. On estime à environ 100 millions de tonnes la quantité de sable extraite de la Loire en région Centre entre 1950 et 1992. Les apports solides estimés sur la même période sont de l'ordre de 40 Mt (1 Mt/an environ). Parallèlement, le lit moyen s'est enfoncé d'environ 2 m sur le même linéaire.
- Bassin de la Garonne : 1 à 3 m d'incision sur la Garonne amont et affleurement généralisé du substratum molassique. Moins 2 m entre Toulouse et la confluence avec le Tarn.
- Bassin du Rhône : le volume extrait pendant vingt ans dans l'Ardèche à l'aval de Rioms a été évalué à 4 millions de mètres cubes (Mm^3), alors que dans le même temps l'apport (estimé) à la rivière a été de l'ordre de $1,5 Mm^3$. Durant cette période, le lit mineur s'est enfoncé d'environ 1 m. Pour les rivières des Alpes du Nord : incision de 12 m sur l'Arve au Fayet, 10 m dans la plaine de Cluses et au moins 14 m aux environs d'Annecy.

Source : www.onema.fr/IMG/pdf/trans-sol_03-partie2.pdf (consulté le 13/11/2015).

Le fleuve et les eaux souterraines

L'hydrosystème fluvial a une composante souterraine. En effet, les eaux superficielles s'infiltrent dans les roches perméables, comme le sable, dont la structure est suffisamment lâche pour permettre le passage des molécules d'eau. Mais les roches plus structurées (calcaires, basaltes) présentent également des fissures qui permettent à l'eau de circuler. On estime que $1 m^3$ de sables et graviers peut contenir 200 à 400 litres d'eau, alors que les calcaires fissurés n'en contiennent que de 10 à 100. L'eau souterraine contenue dans les petits vides interstitiels des alluvions forme le réservoir aquifère, ou nappe phréatique (du grec *phreatos*, « puits », car elle est superficielle et directement accessible par des puits forés à la surface).

Entre les rivières et les nappes souterraines se produisent des échanges d'eau en quantités variables selon un système assez complexe de relations. Pour une rivière qui coule sur des roches perméables, l'eau de surface est accompagnée d'un volume au

moins aussi important qui s'écoule dans ses alluvions, mais qui se déplace à des vitesses beaucoup plus lentes. En période de crue, la nappe est alimentée par le réseau superficiel et emmagasine l'eau. Inversement, en période d'étiage, les eaux souterraines sont libérées dans le réseau superficiel et assurent le maintien en eau des écosystèmes aquatiques. Les flux hydriques transportent également des éléments dissous ou en suspension, comme des polluants, des éléments nutritifs, des matières organiques particulières ou en solution.

Le domaine aquatique souterrain présente des analogies avec le domaine superficiel : flux unidirectionnels et structuration longitudinale et transversale en réseaux. C'est en particulier le cas, dans les régions calcaires, des réseaux karstiques, qui sont de véritables rivières souterraines. D'ailleurs, dans ces régions, les rivières superficielles peuvent disparaître dans des gouffres pour réapparaître au niveau de résurgences.

De manière générale, le domaine souterrain présente une plus grande pérennité et une plus grande stabilité que le domaine superficiel. Les temps de transferts sont beaucoup plus longs et les événements hydrologiques de surface s'y transmettent de façon très atténuée.

On a mis en évidence l'importance écologique de la zone dite hyporhéique, à l'interface entre les milieux superficiels et souterrains. Cette zone épaisse de plus de 1 m est un écotone fortement influencé par la dynamique hydrologique, qui dépend bien entendu de la nature des dépôts sédimentaires et de leur porosité. On estime que les trois quarts du benthos fluvial peuvent vivre à l'intérieur des sédiments à l'état juvénile ou adulte. De jeunes larves de libellules ont été récoltées jusqu'à 2 m de profondeur dans les alluvions de la plaine du haut Rhône. Ce sont également des lieux de vie obligatoires pour certains organismes aquatiques, dit hypogés, qui sont adaptés à ces conditions particulières d'existence. C'est le cas des petits crustacés du genre *Niphargus* qui sont aveugles et dépigmentés.

Cet espace sous-fluvial est un lieu de colonisation temporaire par des organismes épigés, qui y trouvent refuge lorsque les conditions deviennent défavorables en surface : crues de courte durée, arrivée subite de contaminants, etc. De même, de nombreux invertébrés de petite taille (mollusques, crustacés, larves d'insectes), se réfugient temporairement dans les eaux interstitielles pour résister à l'assèchement lors des étiages et recoloniser le cours d'eau dès la montée des eaux.

Pour en savoir plus

Amoros C., Pett G.E., 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, 300 p.

Bravard J.-P., 1998. Le temps et l'espace dans les systèmes fluviaux, deux dimensions spécifiques de l'approche géomorphologique. *Annales de géographie*, n° 559, 12 p.

Bravard J.-P. et Malavoi J.-R., 2000. Les carrières et l'espace de liberté des cours d'eau. In : *Carrières, biodiversité et fonctionnement des hydrosystèmes*, Buchet et Chastel.

LeRoy Poff N., Allan J.D., Bain M.B., Karr J.R., Prestegard K.L., Richter R.B., Sparks D.E., et Stromberg J.C., 1997. The natural flow regime. A paradigm for river conservation and restoration. *BioScience*, vol. 47, n°11.

Lhote Y., 1990. Historique du concept de cycle de l'eau et des premières mesures hydrologiques en Europe. *Hydrologie continentale*, 5 (1) : 13-27.

Malavoi J.-R., Bravard J.-P., Piegay H., Heroin H. et Ramez P., 1998. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau, guide technique n°2. Agence de bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 38 p.

Marsily G. de, 2009. *L'eau, un trésor en partage*. Dunod.

Palissy B., 1580. Discours admirable de la nature des eaux et des fontaines.

Plaisance G., 1974. L'érosion et le reboisement. *Options méditerranéennes*, n° 25 (Conservation et utilisation des sols). Paris, CIHEAM, p. 75-84.

⁸Cité par Lhote, 1990.

⁹www.onema.fr/IMG/pdf/trans-sol_03-partie2.pdf  (consulté le 13/11/2015).

6

L'habitat, un concept structurant et dynamique

Dans les cours d'eau, les différentes espèces ne sont pas distribuées au hasard : elles doivent y trouver un environnement qui leur convient. L'habitat correspond au lieu où vit l'espèce et à son environnement immédiat, à la fois biotique et abiotique. La notion d'habitat est devenue un concept central de l'écologie des peuplements, ainsi qu'une composante essentielle de la nébuleuse « biodiversité ». C'est en fonction de la nature de l'habitat que les espèces pourront ou non s'établir et se reproduire. C'est également en fonction de la diversité des habitats que les cours d'eau seront plus ou moins riches en espèces. Et c'est sur la nature et la diversité des habitats que l'on pourra éventuellement intervenir physiquement pour aménager ou restaurer les cours d'eau.

La notion d'habitat renvoie à deux principes fondamentaux en écologie : l'hétérogénéité et la variabilité qui créent la diversité biologique (Lévêque, 2001). Plusieurs concepts relatifs à l'habitat ont été développés en matière d'écologie fluviale. Ils doivent beaucoup à l'écologie des paysages, qui a fourni un cadre conceptuel spatialisé pour mener des recherches en matière d'écologie et de dynamique des peuplements. Ces concepts ont une valeur heuristique pour aborder le fonctionnement de l'hydrosystème dans son ensemble et pour organiser la réflexion, notamment dans une perspective de restauration écologique. Mais, bien entendu, ces concepts ne sont pas des lois et leur valeur opérationnelle reste très contingente.

Le concept d'« habitat temple »

Pour présenter simplement le fonctionnement écologique des systèmes fluviaux, on peut rappeler que le moteur du système est le régime hydrologique (débit et crues) qui, en interaction avec la morphologie du cours d'eau, va conditionner la nature des habitats disponibles pour les espèces. C'est la morphologie du lit qui détermine les formes d'écoulement et l'hétérogénéité spatiale de l'habitat aquatique. Mais c'est l'hydrologie qui assure la variabilité temporelle du système, créant ou détruisant des habitats selon les variations du niveau de l'eau. Les modifications temporelles et spatiales de l'écoulement induisent ainsi une mosaïque de conditions biotiques et abiotiques favorables à la coexistence de diverses espèces.

Cette association d'une grande hétérogénéité spatiale avec une variabilité temporelle est à l'origine du concept de « l'habitat temple » (Southwood, 1977). Les modifications temporelles et spatiales de l'habitat induisent en effet une mosaïque de biotopes qui jouent un rôle fondamental dans l'organisation des communautés aquatiques. Ainsi, la distribution des organismes dépend de la fréquence des perturbations (naturelles ou anthropiques) qui modifient la disponibilité des habitats et l'environnement physique. Selon le concept d'« habitat temple », l'habitat fonctionne comme un moule, ou comme un « gabarit », qui joue un rôle de filtre, sélectionnant la présence d'espèces dont les traits biologiques et les stratégies écologiques sont les plus appropriés aux caractéristiques de cet habitat.

En schématisant beaucoup, on pourrait dire, dans un contexte biogéographique donné, que la recette miracle pour la diversité biologique est la suivante :

Hétérogénéité spatiale + variabilité hydrologique = richesse en espèces

Recréer de l'hétérogénéité morphologique dans des milieux chenalisés, et de la variabilité en matière hydrologique, permet de retrouver une plus grande diversité d'habitats et, en principe, une plus grande richesse en espèces. À condition toutefois que l'on

prenne en compte une troisième variable tout aussi importante : la qualité des eaux !

Traits d'histoire de vie

L'idée n'est pas nouvelle : si les espèces vivent et se reproduisent dans un environnement, c'est qu'elles sont adaptées à cet environnement... C'est-à-dire que leurs caractéristiques biologiques et physiologiques sont capables de répondre positivement aux variations cycliques, épisodiques ou exceptionnelles (jusque dans certaines limites cependant...) de cet environnement particulier. Ces traits comprennent des caractéristiques physiologiques telles que la réponse à la température, à l'oxygène, au courant. Et des aspects biologiques tels que la saison de reproduction, le nombre de pontes, la taille, la forme du corps. Ainsi, les traits biologiques et écologiques (traits d'histoire de vie) sont l'ensemble des informations de nature quantitative ou qualitative associées à la biologie des organismes et à leurs relations avec l'environnement.

Partant de ces principes, Townsend et Hildrew (1994) ont pu prédire l'existence de différents traits biologiques parmi les espèces présentes dans les cours d'eau : stratégies de reproduction, forme du corps, taille, longévité, etc. Sur ces bases, ils ont également fait des prédictions quant à la richesse spécifique et au nombre d'espèces exploitant certaines catégories de ressources. Ces hypothèses ont été testées sur un ensemble de groupes aquatiques vivant dans le Rhône (Statzner *et al.*, 1996). Pour la majorité des groupes étudiés, il y a une relation statistiquement significative dans les tendances observées entre les traits biologiques et la variabilité spatiale et temporelle de l'habitat. L'hypothèse centrale du concept de « l'habitat temple » est donc globalement vérifiée. Mais, dans le détail, les traits biologiques ne sont pas toujours conformes aux prédictions de Hildrew et Townsend (Statzner *et al.*, 1996).

L'habitat vu par les poissons

Dans les années 1980, le Piren a animé un programme interdisciplinaire intitulé « Habitat-poissons^[10] ». Dans un environnement très variable comme celui d'un système fluvial, les individus poissons vont rechercher en permanence des compromis, de manière à optimiser trois fonctions principales : s'alimenter, se

reproduire et se protéger des prédateurs. Et leur habitat (par définition, le milieu géographique propre à la vie d'une espèce animale et végétale) résultera de cette recherche de compromis entre la variabilité du milieu et l'optimisation de leurs besoins vitaux. Ainsi, pour qu'un poisson puisse vivre et se reproduire dans un cours d'eau, il doit disposer tout au long de sa vie d'un certain nombre de milieux propices qu'il pourra occuper successivement pour réaliser ses fonctions vitales (Lévêque, 1995) :

- il doit pouvoir se protéger temporairement des contraintes du milieu ou des prédateurs. La présence d'abris est indispensable pour limiter la déperdition d'énergie face au courant ou en cas de danger. Les caractéristiques de ces abris ou de ces caches varient en fonction du stade de développement : alevin, juvéniles, adultes ;
- il doit se nourrir dans les meilleures conditions pour assurer sa croissance et sa survie. Ici encore, la nature et la taille des proies varient au cours du développement. Les substrats grossiers et perméables en courant rapide sont les zones les plus productives en invertébrés pour les poissons rhéophiles. Les cours d'eau lents sont exploités par des espèces pélagiques ou se nourrissant sur les fonds meubles ;
- il doit se reproduire. Certains poissons ont besoin de trouver des frayères telles que des zones de graviers bien oxygénées. D'autres utilisent la végétation aquatique ou les annexes hydrauliques.

Pour les espèces de poissons migratrices, la notion d'habitat peut concerner divers écosystèmes, parfois très éloignés. Dans le cas de l'esturgeon européen (*Acipenser sturio*), qui ne subsiste à l'heure actuelle que dans le bassin de la Garonne alors qu'il était présent au début du ^{xx}e siècle dans plusieurs rivières d'Europe de l'Ouest (figure 6.1), le cycle vital s'effectue entre les eaux douces et les eaux marines. Les esturgeons se reproduisent dans les eaux douces de la partie basse de la Garonne ou de la Dordogne. Les juvéniles passent la majeure partie de leur vie en mer mais font de fréquentes incursions dans les eaux saumâtres de l'estuaire de la Gironde, où ils s'alimentent. L'aire de répartition marine des esturgeons girondins

s'étend du golfe de Gascogne à la Scandinavie. On ne peut s'empêcher de faire la comparaison avec les oiseaux migrateurs qui vont hiverner en zone intertropicale durant l'hiver et viennent se reproduire dans les régions septentrionales en été.



Figure 6.1 Esturgeon commun.

Il a disparu de la Seine, de la Loire et du Rhône où il était encore présent au début du xx^e siècle. Il a été victime de l'engouement pour le caviar, ainsi que de la multiplication des barrages sur les cours d'eau. Il survit aujourd'hui dans l'estuaire de la Garonne grâce aux efforts des chercheurs d'Irstea, qui ont mis en place un ambitieux programme de repeuplement.

L'habitat du poisson est donc une notion essentiellement dynamique. C'est une référence spatiale et temporelle : l'environnement occupé à un instant donné par un individu parvenu à un certain stade de développement, cherchant à optimiser le nécessaire compromis entre différentes contraintes biologiques et écologiques (se reproduire, se nourrir, se protéger) dans un milieu lui-même très variable. Mais l'habitat, *sensu lato*, correspond aussi à l'ensemble des milieux

nécessaires à une espèce pour accomplir son cycle biologique. Et ce cycle n'est réalisable que si tous les milieux sont disponibles au bon moment. Il doit donc y avoir une bonne synchronisation entre l'ontogenèse et la dynamique du cours d'eau. Dans la perspective de la restauration des milieux aquatiques, on doit obligatoirement prendre en compte cette nécessité : il ne suffit pas de préserver les biotopes indispensables aux adultes pour assurer la pérennité d'une espèce, il faut également s'assurer qu'elle pourra trouver les conditions favorables à la reproduction et à la croissance des larves et des juvéniles.

Échelles de temps, échelles d'espace

Les différentes composantes biotiques et abiotiques des cours d'eau ont des dynamiques spatiales et temporelles très variées. Pour essayer de démêler cette complexité, les écologues se réfèrent souvent à la notion d'échelle.

Concernant les échelles temporelles, le temps de génération d'une bactérie (quelques heures) est bien plus court que celui d'un poisson. Les temps de réaction aux perturbations seront donc différents selon les organismes concernés : ceux dont le temps de génération est court vont pouvoir coloniser plus rapidement des milieux temporaires, à l'exemple des zones inondables. Mais certains phénomènes peuvent se manifester sur des périodes plus longues, à l'exemple du réchauffement climatique actuel. Dans ce contexte, un système peut évoluer insensiblement sur de courtes périodes d'observation, de telle sorte que le phénomène est difficilement détectable si l'on ne dispose pas de longues séries d'observations. Magnuson (1990) avaient parlé à ce propos de « présent invisible » pour désigner ces phénomènes qui s'inscrivent dans le temps long. Ce qui plaide, si besoin était, pour mener des observations à long terme.

Des problèmes similaires se posent pour les échelles spatiales. Par exemple, la richesse spécifique en poissons dans un bassin versant est corrélée à la surface du bassin et/ou au débit du cours d'eau (chapitre 7). En outre, de nombreuses espèces ont des distributions

en mosaïque et peuvent disparaître dans certaines régions alors qu'elles sont abondantes dans d'autres. La structure et la composition des peuplements à un endroit donné et à un moment donné sont ainsi le résultat de ces multiples interactions qui agissent à différentes échelles sur chacune des espèces composant le peuplement. Une question fondamentale pour les écologues est donc de savoir à quelles échelles situer leurs observations...

Pour des raisons pratiques et opérationnelles, la nécessité de reconnaître une typologie des habitats a amené certains auteurs à proposer une approche hiérarchique des habitats pour l'étude des communautés piscicoles à différentes échelles spatiales et temporelles. Bayley et Li (1992) ont ouvert cette voie en distinguant quatre grands types d'organisations spatio-temporelles (figure 6.2). Selon ces auteurs, le microhabitat correspond à la zone d'activité journalière : alimentation, sélection de meilleures conditions abiotiques, comportement social (grégarisme, territorialité). À l'échelle du mois, le domaine d'activité s'étend à la rivière (*home range*, ou domaine vital), alors qu'à l'échelle saisonnière il peut concerner le bassin hydrographique si l'espèce effectue des migrations de grande envergure (niche ontogénique). Enfin, l'échelle régionale est celle de l'évolution (spéciation) et de la mise en place de faunes sous l'influence d'événements climatiques et géologiques (extinction, colonisation). C'est celle de la métapopulation (figure 6.3).

La niche ontogénique

Une espèce a besoin de trouver les conditions nécessaires à sa survie et à sa croissance à chaque étape de son développement. La niche ontogénique est ainsi l'ensemble des habitats et des ressources nécessaires au bon déroulement du cycle biologique. Il doit donc y avoir une bonne synchronisation dans le temps entre le développement et les conditions offertes par l'environnement biotique et abiotique (théorie dite du *match-mismatch*). Autrement dit « il faut être au bon endroit au bon moment. » (Lévêque, 1995). Sur le plan pratique, il faut prendre en considération tous ces paramètres dans les opérations de restauration, et pas seulement les biotopes favorables aux adultes, pour assurer la pérennité de l'espèce. Par exemple, une population de brochets sans prairies humides pour se reproduire aura peu de chance de se maintenir.

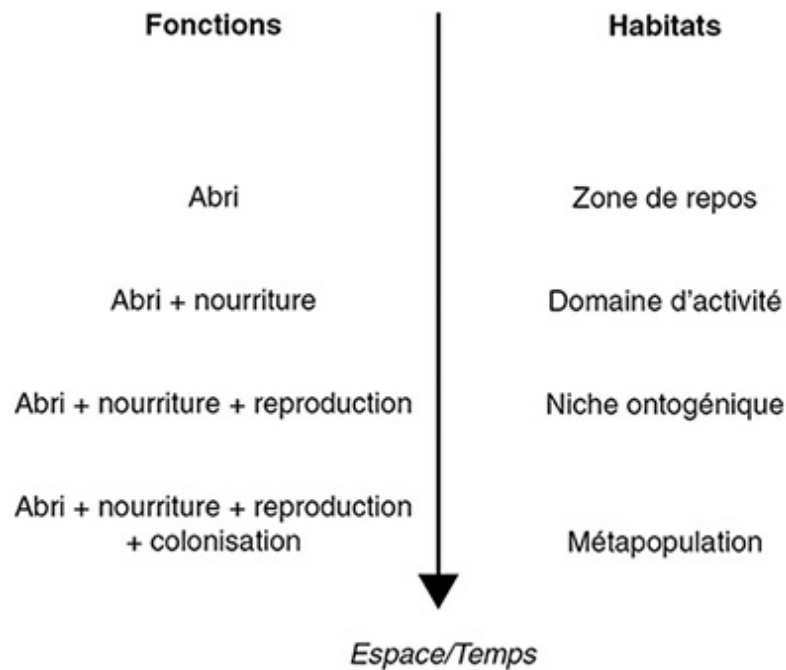


Figure 6.2 Les quatre ensembles spatio-temporels de l'habitat en relation avec les fonctions biologiques des poissons.

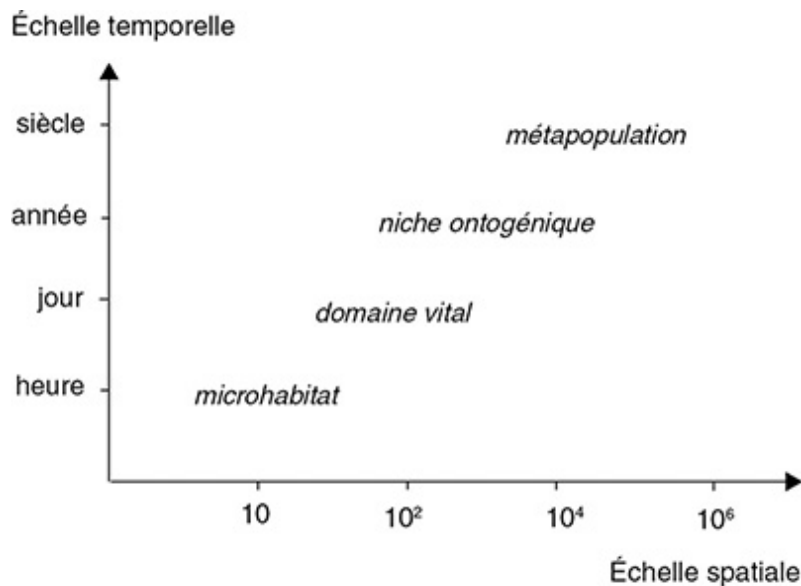


Figure 6.3 Typologie des habitats chez les poissons. (d'après Bayley et Li, 1992)

Wasson *et al.* (1998) ont proposé une démarche pour caractériser l'habitat des poissons sous forme d'échelles emboîtées, en

distinguant trois échelles majeures qui sont à l'origine de la diversification des structures morphologiques :

- l'échelle régionale du bassin, celle des différents types de vallées générées par les grandes formes géomorphologiques, et la structure hiérarchisée du réseau hydrographique ;
- l'échelle linéaire du tronçon, celle des séquences d'unités morphologiques créées dans une vallée par la dynamique fluviale ;
- l'échelle ponctuelle du faciès, qui détermine les combinaisons substrat-écoulement.

L'échelle la plus fine, celle du microhabitat, correspond au positionnement instantané d'un individu en phase de repos ou d'alimentation. L'intérêt biologique d'un microhabitat dépend de son environnement immédiat, qui est qualifié d'ambiance. Cette dernière doit contenir les caches adaptées à la taille de l'organisme mais aussi des ressources trophiques. L'ambiance est donc l'échelle de la réalisation d'une fonction biologique. La diversité des caractéristiques des microhabitats et des ambiances dépend directement des faciès dans lesquels ils se situent. Le faciès est une unité morpho-dynamique homogène en ce qui concerne la pente locale, le profil en travers et le substrat, à l'échelle de quelques dizaines de mètres carrés suivant la largeur du lit. Ces faciès (radiers ou rapides, plats, mouilles) sont facilement identifiables par un observateur et leur répartition répond à une logique morpho-dynamique.

À l'échelle linéaire, les faciès s'agencent en séquences généralement répétitives : succession plat-radier-mouille, le plus souvent. La séquence de faciès constitue l'échelle du territoire quotidien d'un organisme aquatique. Aux échelles supérieures, on peut identifier des segments homogènes en termes de séquences de faciès, de largeur et de dynamique du lit. Le tronçon se définit par l'arrangement répétitif des segments. Ils sont plus ou moins homogènes quant aux formes du lit, la pente générale, la dynamique fluviale. Les tronçons sont délimités par des discontinuités géomorphologiques majeures comme les changements de type de vallée, de substratum géologique, ou par des aménagements structurants (barrages, endiguements). C'est à l'échelle des segments et des tronçons que

s'organisent les populations des différentes espèces, pour constituer des peuplements relativement pérennes.

À l'échelle régionale enfin, la géologie, les formes du relief, le climat définissent un troisième niveau de complexité en générant différents types de vallées qui se distinguent par la pente, la nature des matériaux des versants et du lit, le régime hydrologique. À cette diversité régionale des bassins se superpose la structure fractale des réseaux hydrographiques qui détermine l'accroissement de la taille des rivières de l'amont vers l'aval. Cette échelle régionale est celle de la diversité des peuplements.

Un système fluvial structuré à l'échelle du bassin versant

Le réseau hydrographique est un système physique structuré. Alimentés par le ruissellement, les nappes ou les sources, les cours d'eau s'organisent en réseaux hydrographiques, avec une hiérarchie depuis les sources jusqu'à l'embouchure qui va structurer les habitats aquatiques.

La règle des confluences

De manière schématique, un cours d'eau peut être représenté par une série de segments linéaires (branches) qui se rejoignent au niveau de nœuds pour former un réseau ramifié dit « dendritique » (du grec *dendros* qui signifie « arbre »). Les géomorphologues ont mis en évidence des lois géométriques générales d'organisation des réseaux hydrographiques (Strahler, 1957). Les segments dont l'extrémité amont est une source, sont d'ordre 1 ; le segment résultant de la confluence de deux cours d'eau de même ordre i est d'ordre $i + 1$. La rencontre de deux cours d'eau de même catégorie donne naissance à un cours d'eau de rang supérieur et le cours d'eau résultant de la confluence de deux cours d'eau d'ordres différents conserve l'ordre du cours d'eau dont l'ordre est le plus grand (figure 6.4). L'ordre du bassin versant correspond à l'ordre du

segment le plus élevé. Par exemple, le fleuve Amazone est un bassin versant d'ordre 12, alors que la Seine n'est que d'ordre 8.

Tableau 6.1. Distributions et caractéristiques des segments fluviaux dans le bassin de la Seine par ordre de Strahler. (d'après Meybeck *et al.*, 1998)

Ordre	N	L (km)	S (km ²)	Pente (‰)
1	5 610	1,76	5,7	10
2	1 323	4,1	31	5
3	302	12,1	145	2,5
4	64	31	665	1,5
5	18	58,3	2 580	0,8
6	5	174	970	0,3
7	2	129	24 000	0,25
8	1	294	65 000	0,1

N : nombre de tributaires, L : longueur moyenne du segment, S : superficie moyenne du bassin versant.

Ce système de classification a été surtout utilisé par les écologues nord-américains, de préférence à d'autres approches, par exemple la distance par rapport à la source. Il a le mérite d'être assez objectif et facilement applicable mais, comme toute méthode simple, il a également des limites. En particulier, il n'est pas toujours simple d'identifier les cours d'ordre 1 lorsque les écoulements sont intermittents.

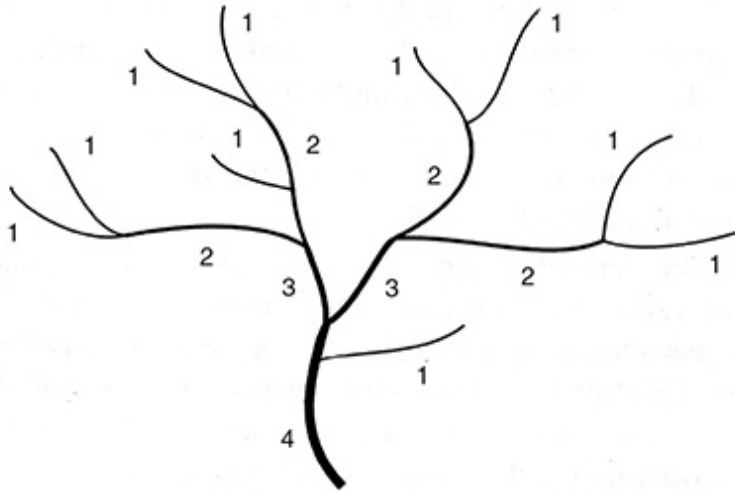


Figure 6.4. Classification hiérarchique des cours d'eau (classification de Strahler).

On définit par convention les cours d'eau d'ordre 1 comme des cours d'eau sans affluents. La confluence de deux cours d'eau d'ordre 1 forme un cours d'eau d'ordre 2, et la confluence de deux cours d'eau d'ordre 2 donne un cours d'eau d'ordre 3, etc. En revanche, un cours d'eau d'ordre 2 recevant un autre cours d'eau d'ordre 1 reste toujours d'ordre 2.

Un gradient géomorphologique

Des sources d'un fleuve jusqu'à son embouchure, on observe une évolution marquée des caractéristiques géomorphologiques : l'eau s'écoule de manière unidirectionnelle, le débit augmente, la pente diminue. Il en résulte des changements progressifs dans les styles fluviaux, ainsi qu'une structuration longitudinale (figure 6.5) des habitats. Les peuplements biologiques se répartissent le long de ce gradient en fonction de la nature du substrat, de la vitesse du courant, de la température et de l'oxygénation des eaux.

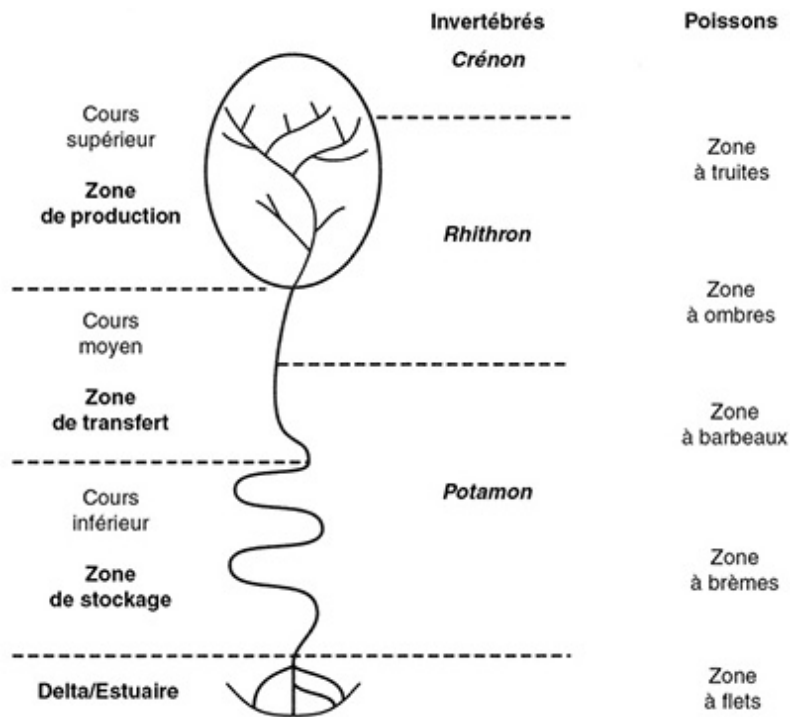


Figure 6.5 Grands ensembles géomorphologiques et zonation longitudinale schématique des peuplements en invertébrés et en poissons.

Ainsi, dans la zone la plus en amont, les cours d'eau étroits, généralement rectilignes et de forte pente, ont un caractère torrentiel. Malgré le faible débit, les processus d'érosion sont intenses en raison d'un fort courant, et les fonds sont caillouteux. Cette partie, ou cours supérieur, est parfois appelée la « zone de production » ou « zone d'érosion » car ce chevelu de petits cours d'eau alimente le système fluvial en eau et en sédiment. Les eaux sont fraîches et bien oxygénées mais le courant est vif, de telle sorte que la faune est peu abondante.

Plus à l'aval, la pente et la vitesse diminuent, alors que le débit et la largeur augmentent. Les fonds sont constitués de galets et de graviers, et au fur et à mesure que la pente diminue, les processus de sédimentation deviennent prépondérants par rapport à l'érosion. C'est la zone des chenaux en tresse (figure 6.6) qui sont des chenaux multiples enserrant des îles caillouteuses à forte mobilité. Cette partie du système fluvial, ou cours moyen, est également appelée « zone de transfert » de l'eau et des matériaux vers la plaine alluviale.



Figure 6.6 Zone de tressage dans la Durance à Ganagobie. (photo C. Lévêque)

Les rivières en tresses sont caractérisées par des chenaux multiples très mobiles dans l'espace et dans le temps, séparés par des bancs alluviaux.

Enfin, dans le cours inférieur où la pente est faible, la vitesse du courant se réduit considérablement et une grande partie des matériaux transportés se dépose progressivement pour former de larges plaines alluviales ou des deltas. C'est la « zone de stockage », dans laquelle s'accumulent les alluvions, résultat de la démolition et des transformations mécaniques et chimiques des roches de surface. Les températures sont plus élevées, avec de fortes variations saisonnières, et il peut y avoir des déficits en oxygène dissous.

Les microhabitats

Les caractéristiques hydrauliques ponctuelles qui contrôlent la structure de l'habitat à l'échelle locale sont la vitesse du courant, la hauteur d'eau et le substrat (Statzner *et al.*, 1988). Le rôle de la

vitesse du courant est difficile à confirmer en raison des difficultés liées à sa mesure à l'endroit précis où vivent les animaux. Pourtant, ce sont les microcourants à la surface immédiate du substrat qui intéressent particulièrement les écologues (Statzner *et al.*, 1988).

On peut définir le microhabitat comme l'endroit où une espèce trouve les conditions de température, de courant, de substrat, de profondeur, etc., qui lui sont les plus favorables sur le plan biologique. Ces conditions peuvent bien entendu changer selon les stades de développement. Mais il faut aussi que l'espèce, quel que soit son stade, puisse trouver les proies dont elle se nourrit, ce qui signifie que, dans le microhabitat, il y a aussi une composante ressources alimentaires.

La méthode des microhabitats consiste à rechercher les préférences d'habitat d'une espèce en fonction des caractéristiques morphodynamiques de la rivière (vitesses, profondeurs, natures des fonds). Le principe de la méthode consiste en l'association d'un modèle hydraulique avec un modèle biologique afin d'évaluer l'habitat disponible pour une espèce ou un groupe d'espèces cibles. Les modélisations couplant les conditions hydrauliques des tronçons de cours d'eau aux communautés biologiques s'inscrivent dans la filiation de la méthode dite des microhabitats énoncée par Bovee et Milhous (1978). Il s'agit de chercher à prédire les conséquences de modifications du débit sur l'habitat des populations de poissons d'un tronçon de cours d'eau, à partir de préférences d'habitat hydraulique observées à l'échelle des individus. Les recherches sur les microhabitats ont surtout été développées en France dans le cadre des travaux pour la définition des débits réservés car l'habitat piscicole est particulièrement sensible au débit du cours d'eau (Sabaton, 2003). Cette méthode permet en particulier de déterminer un débit minimum biologique à maintenir dans un tronçon de cours d'eau court-circuité.

Les modèles d'habitats conventionnels, essentiellement utilisés pour les poissons, décrivent les conditions physiques dans un cours d'eau à l'aide d'un modèle hydraulique, puis estiment la qualité de l'habitat des espèces à l'aide de modèles de préférence des espèces pour

ces conditions physiques. Le Cemagref (maintenant Irstea) de Lyon a développé la méthode Evha (ÉVAluation de l'HABitat physique des poissons en rivière) pour évaluer les microhabitats des poissons. Elle part du principe que l'habitat piscicole peut être caractérisé à partir de trois composantes principales : la vitesse du courant, la hauteur de l'eau et le substrat. Sur ces bases, la méthode met en œuvre :

- un modèle hydraulique d'étiage qui permet, à partir de relevés de terrain, de modéliser les variations des trois grandeurs (hauteur, vitesse, substrat) selon le débit ;
- des courbes de préférences propres à chaque poisson qui sont issues de résultats statistiques de pêches ponctuelles.

Les variables usuelles de mesures pour décrire les caractéristiques hydrauliques à l'échelle du microhabitat fonctionnent bien pour les poissons, mais ne reflètent que partiellement la complexité hydraulique à la surface du substrat. D'autres études (Statzner et Müller, 1989 ; Méricoux et Dolédec, 2004) ont montré que la contrainte hydraulique à la surface du fond du lit du cours d'eau est également un paramètre structurant pour évaluer l'habitat des espèces benthiques. Pour beaucoup d'invertébrés, le courant est important car il permet l'oxygénation, ainsi que l'apport de nourriture pour les organismes filtreurs. On a mis notamment en évidence l'influence de l'effet de cisaillement à la surface du substrat sur la distribution des invertébrés aquatiques de nos rivières. Les mesures à cette échelle sont difficiles, mais Statzner et Müller (1989) ont proposé une méthode de mesure directe de la force de cisaillement à la surface du substrat qui intègre des caractéristiques hydrauliques complexes : les hémisphères Fliesswasserstammtisch (FST). Cette méthode permet ainsi une caractérisation de l'habitat qui trouve tout particulièrement son intérêt lorsqu'elle est associée à un échantillonnage quantitatif des macro-invertébrés.

Le corridor fluvial : zonations écologiques et continuum fluvial

Jusqu'aux années 1980, les approches classiques en hydrologie fluviale reposaient sur le paradigme d'un transfert unidirectionnel de l'eau et des matériaux, la rivière étant considérée comme un canal d'évacuation des eaux et des sédiments. Depuis, la perception a beaucoup évolué et l'on parle maintenant du corridor fluvial, comprenant non seulement le lit du cours d'eau, mais aussi les systèmes terrestres adjacents qui lui sont étroitement associés tels que les ripisylves, ou forêts galeries, qui participent au fonctionnement écologique du système fluvial.

La notion de corridor, comme d'autres notions telles que la connectivité ou la distribution en taches, est issue de l'écologie des paysages. Les corridors sont des éléments linéaires du paysage dont la fonction est de relier des habitats qui, autrement, seraient isolés. Ils favorisent notamment les flux écologiques, comme les déplacements d'organismes, tant à l'échelle locale qu'à l'échelle régionale. Ce sont donc des éléments structurels d'un paysage qui assurent la liaison entre les différents éléments aquatiques ou terrestres, tout en constituant des systèmes de transition (écotones) entre ces milieux. L'ensemble des corridors constitue un réseau, que l'on désigne parfois en France sous le nom de « trame bleue », une expression qui est devenue un véritable slogan en matière de restauration des systèmes fluviaux.

Les zonations écologiques

Les travaux pionniers en écologie fluviale ont cherché à définir des zones plus ou moins homogènes et caractéristiques le long du cours d'eau, sur la base des paramètres physico-chimiques.

Plusieurs zonations écologiques des cours d'eau ont ainsi été proposées, notamment pour les poissons. L'une des plus connues en Europe est celle proposée par l'ingénieur belge Huet en 1949, appelée « règle des pentes ». « Dans un territoire biogéographique déterminé, des eaux de même importance quant à la largeur et à la profondeur, et possédant des pentes comparables, ont des caractères biologiques et spécialement des populations piscicoles analogues. » Huet avait compris qu'en utilisant des paramètres

simples comme la pente et la largeur des cours d'eau, on pouvait prédire quelles sont les populations de poissons dominantes. Ces deux paramètres sont en effet généralement bien corrélés avec les changements graduels de température de l'eau, du taux d'oxygène dissous, de la nature des sédiments, des caractéristiques d'écoulement liées au débit, et de nature des berges.

La règle des pentes a le mérite de la simplicité, mais n'est pas généralisable. En particulier, on s'est aperçu que d'autres facteurs écologiques, comme la température, sont également très importants. D'autre part, en fonction des aires biogéographiques, les espèces caractéristiques ne sont pas les mêmes.

Le continuum fluvial

Le concept de continuum fluvial (*River Continuum Concept*, ou RCC) a été proposé par Vannote *et al.* (1980). Il postule que, sur l'axe amont-aval, les modifications progressives des caractéristiques physiques et hydrologiques engendrent un gradient continu des ressources trophiques disponibles et, par voie de conséquence, un autre gradient dans la nature des communautés biologiques qui exploitent ces ressources.

Le RCC introduit une dimension dynamique dans la linéarité des cours d'eau, notamment en ce qui concerne l'origine de la matière organique, de sa transformation et de son utilisation par les organismes aquatiques. En effet, l'énergie nécessaire à la production biologique dans une rivière a trois origines possibles : la production primaire autochtone dans la rivière, les apports externes (allochtones) provenant de la végétation des berges, et le transport de matériel organique depuis l'amont. Or l'importance relative de ces trois sources d'énergie varie selon un continuum le long du cours d'eau.

De manière théorique, on peut proposer le schéma suivant :

- Dans les ruisseaux et petits cours d'eau de l'amont, la végétation arbustive des berges intercepte la lumière, ce qui contribue à limiter fortement la production primaire aquatique pendant la

période estivale. En revanche, de grandes quantités de débris végétaux (feuilles, brindilles, branches), ainsi que des animaux terrestres (insectes, en particulier), tombent dans le cours d'eau ou sont entraînés par le ruissellement. Le fonctionnement du système biologique et l'alimentation des organismes aquatiques dépendent donc essentiellement de l'apport en matière organique sous forme de particules grossières provenant du milieu extérieur (on parle à ce sujet de système hétérotrophe).

- En progressant vers l'aval, la largeur du cours d'eau augmente, permettant une meilleure pénétration de l'énergie solaire et le développement d'algues ou de végétaux fixés sur les plantes ou les pierres. La production primaire autochtone prenant de plus en plus d'importance avec l'accroissement de la taille des cours d'eau, les systèmes deviennent alors autotrophes, ce qui signifie que la plus grande part des ressources alimentaires est produite dans le milieu aquatique lui-même, même si les débris organiques provenant de l'amont peuvent également contribuer à la production biologique locale.
- Dans les grandes rivières au cours relativement lent, la turbidité des eaux peut réduire la pénétration de l'énergie lumineuse, limitant ainsi le développement des plantes enracinées ou des algues fixées sur des supports. Le développement du phytoplancton peut compenser en partie cette réduction de la production primaire, mais les apports importants en matière organique particulaire fine provenant de l'amont créent de nouvelles conditions d'hétérotrophie comparables à celles des ruisseaux de l'amont.

Sur cette base, on peut tenter d'expliquer comment les communautés d'invertébrés s'ajustent aux conditions de milieu de l'amont vers l'aval. Ainsi, en amont, on rencontrera une dominance d'espèces adaptées à broyer et à déchiqueter les matériaux grossiers. Ces « broyeurs » morcellent la matière organique et produisent des particules plus fines qui seront collectées plus en aval par des invertébrés du groupe des « collecteurs ». Ceux-ci, pour se nourrir, filtrent ces particules et les bactéries qui leur sont associées. Avec l'apparition des algues fixées sur les rochers ou les végétaux enracinés, se développent les herbivores « racleurs » ou

« brouteurs » qui dominent dans les rivières de taille moyenne. Des « prédateurs » sont associés à ces différents assemblages d'espèces. Ce schéma théorique est bien entendu à moduler en fonction du contexte géographique et climatique.

Le RCC prédit d'autre part que la richesse en espèces aquatiques, qui est relativement faible dans les têtes de bassin, s'accroît vers l'aval, la plus grande richesse s'observant dans les cours intermédiaires. Ainsi, chez les poissons d'eau douce, la richesse spécifique augmente localement suivant le gradient amont-aval. Cette augmentation est parfois attribuée à l'augmentation de taille des habitats en aval et/ou à la diversité de l'habitat (Belliard *et al.*, 1997 ; Oberdorff *et al.*, 2001 ; Grenouillet *et al.*, 2004).

Le concept de continuum fluvial a stimulé beaucoup de recherches mais suscité également de nombreuses controverses. Notamment, le RCC a été proposé pour des petites rivières nord-américaines tempérées, avec des canopées denses et de fortes pentes. On a voulu en faire un modèle universel, ce qui est une erreur. Il s'adapte mal aux grands cours d'eau, notamment parce qu'il ne prend pas en compte les relations avec le lit majeur pour les fleuves ayant de grandes plaines d'inondation et qui sont des milieux très productifs.

Comment se déplacer à peu de frais : la dérive

On désigne sous le terme de « dérive » le déplacement vers l'aval des organismes d'un cours d'eau qui se laissent entraîner par la force du courant. La dérive peut s'expliquer en partie par le comportement des organismes. Un certain nombre d'invertébrés benthiques dans les cours d'eau vivent à l'abri sous les cailloux durant le jour mais viennent se nourrir la nuit sur le périphyton et la matière organique de la face supérieure de ces cailloux. Ce comportement nocturne est une stratégie biologique qui permettrait d'échapper aux prédateurs visuels. La dérive suit un cycle journalier assez marqué : elle connaît un maximum pendant la nuit, qui correspond à l'activité maximale de beaucoup d'invertébrés benthiques, de telle sorte que ces derniers ont plus de risques d'être entraînés accidentellement par le courant (dérive passive).

Mais il apparaît également que certains organismes aquatiques se laissent volontairement entraîner par le courant (dérive active). Dans ce contexte, la dérive apparaît comme un moyen de quitter des zones amont trop peuplées ou qui deviennent peu favorables à la vie des organismes aquatiques pour (re)peupler des zones en aval. La dérive active est ainsi un moyen de colonisation important des habitats nouvellement créés, par la montée des eaux par exemple. C'est aussi un moyen de

recoloniser des zones qui ont pu subir des perturbations. Les juvéniles de certaines espèces de poissons, qui migrent en amont pour se reproduire, utilisent également la dérive pour recoloniser les zones aval.

Le corridor fluvial et la continuité écologique

Le corridor fluvial est-il un lieu d'expansion du fleuve (son lit majeur) ou un lieu d'expression du fleuve ? (Peiry, 2002). Certains ont parlé à ce propos d'« espace de liberté ». C'est une zone inondable comprenant le chenal fluvial et divers types de biotopes tant aquatiques (bras morts, zones humides) que terrestres (forêts alluviales, bancs de sable, berges). Il répond bien à la définition de l'écocomplexe donnée par Blandin et Lamotte (1988).

Sur le plan biologique, les changements géomorphologiques et hydrologiques intervenant depuis les têtes de bassin jusqu'au niveau des plaines alluviales ont d'abord orienté la réflexion autour de la notion de gradient longitudinal : augmentation de la profondeur, de la largeur, du débit, avec simultanément diminution de la vitesse du courant, de la pente et de la granulométrie du lit. Ce gradient amont-aval de l'habitat s'accompagne d'un changement progressif des communautés végétales et animales en fonction des exigences écologiques des espèces. En réalité, ce schéma un peu simple mais pédagogique n'est pas toujours bien vérifié pour certains cours d'eau. En effet, la pente ne décroît pas régulièrement mais peut présenter des zones de plat et des zones de rupture, de telle sorte que le cours peut être constitué d'une alternance de vasques relativement calmes et de zones plus rapides. Le terme continuum prête ainsi à confusion, car le cours d'eau dans sa dimension longitudinale est le plus souvent une mosaïque de milieux hétérogènes qui se succèdent les uns aux autres.

Les rôles des corridors écologiques sont controversés. D'un côté, ils assurent une connexion entre populations qui seraient autrement isolées. C'est l'argument souvent évoqué en matière de restauration lorsqu'on parle de certains poissons migrateurs qui ont besoin de trouver des zones de frai en amont : « Créer une véritable continuité territoriale afin de faciliter la circulation des espèces et protéger ainsi

la biodiversité... tel est l'enjeu de la trame bleue, formée des cours d'eau et masses d'eau, associée à la trame verte, constituée de grands ensembles naturels reliés par des corridors » (site web de l'Onema). Mais en réalité, peu d'espèces utilisent l'ensemble du système fluvial pour réaliser leur cycle biologique. Bien d'autres, notamment chez les insectes (plus de la moitié des espèces aquatiques), qui ont des capacités de déplacement autonomes, ne sont pas assujetties à l'existence d'une continuité écologique pour se déplacer. On ne peut donc pas parler de manière générale du rôle des corridors fluviaux dans la circulation des espèces, mais le considérer au cas par cas.

Les corridors fluviaux sont, par ailleurs, des voies privilégiées pour la diffusion d'espèces dites envahissantes ! On ne peut donc pas, d'une part, parler de lutte contre les invasives et, d'autre part, leur entretenir une voie royale... Mais l'écologie politique n'est pas à une contradiction près. Sans compter que, selon le principe de solidarité amont-aval, des pollutions ou d'autres événements intervenant en amont se propageront alors sans obstacles sur toute la longueur du cours d'eau.

On rappellera que le réseau de canaux en Europe permet de faire communiquer entre eux l'ensemble des fleuves européens, de la Bretagne jusqu'au Danube. À preuve, l'arrivée récente d'espèces aquatiques ponto-caspiennes dans nos cours d'eau (mollusques, crustacés), surtout depuis l'ouverture du canal reliant le bassin du Danube à celui du Rhin en 1992 (Beisel et Lévêque, 2010). Toute espèce introduite dans une rivière européenne peut se retrouver potentiellement dans les autres rivières. La trame bleue existe déjà... pour le meilleur et pour le pire !

Du lit mineur au lit majeur : interactions entre milieux aquatiques et milieux terrestres

On a souvent tendance à considérer que les systèmes aquatiques sont des milieux qui fonctionnent en autarcie. L'archétype

d'écosystème a par exemple souvent été le lac, aux limites bien identifiées. Lacs et cours d'eau ont longtemps été étudiés indépendamment de leur environnement terrestre. C'est oublier qu'il y a de fortes interactions entre les milieux aquatiques et les systèmes terrestres environnants (Hanse *et al.*, 2008) qui concernent notamment les chaînes trophiques, par des échanges de matière organique entre les différents milieux.

On estime ainsi que les insectes terrestres jouent un rôle important dans les réseaux trophiques des cours d'eau. Selon les saisons, les retombées d'insectes peuvent représenter jusqu'à 50 % de la consommation de certaines espèces de poissons. Ces apports allochtones sont cruciaux pour les poissons. Ils peuvent aussi concerner des fruits ou des débris végétaux. Ils dépendent bien évidemment du type de végétation couvrant les rives, et la déforestation a des conséquences sur les chaînes trophiques. Inversement, nombre d'insectes passent une partie de leur vie en eau douce et une autre en milieu terrestre. Ainsi, les émergences d'insectes aquatiques en été (Éphéméroptères, Trichoptères, Plécoptères, etc.) peuvent représenter 90 % de la nourriture des prédateurs terrestres.

Le Flood Pulse Concept

Le système lotique fonctionne par pulsations (*flood pulse*) dont le rythme est régi par les oscillations du régime hydrologique, et dont l'impact dépend de l'amplitude, de la durée, de la fréquence et/ou de la régularité des crues. Ces alternances d'inondation et d'exondation sont considérées, dans les systèmes peu anthropisés, comme le moteur du fonctionnement du système. En particulier, l'époque à laquelle s'établissent les connexions entre le fleuve et ses annexes a des conséquences importantes sur la biologie des espèces.

Ce concept (FPC) a d'abord été développé pour décrire les changements saisonniers liés au cycle crue/décrue dans les plaines d'inondation de l'Amazonie (Junk *et al.*, 1989), et leurs conséquences sur la dynamique des communautés biologiques. Ces alternances périodiques créent une grande diversité d'habitats, de plus ou moins

longue durée, se succédant dans le temps. En réalité, Junk *et al.* ont repris et développé une idée déjà avancée par Lowe-McConnell (1985) pour les grands cours d'eau tropicaux possédant un lit majeur et de vastes plaines d'inondation. Dans un tel système, les interactions entre la rivière et les annexes fluviales dépendent en effet de la crue. Une grande part de la production primaire et secondaire a lieu dans les plaines inondées, alors que la rivière sert surtout au transport d'eau et de matière dissoute ou particulaire. La rivière sert de refuge aux organismes en période de basses eaux, mais sert aussi de véhicule pour une dispersion active et passive des organismes (figure 6.7).

Dans les fleuves tropicaux, plusieurs travaux ont mis en évidence une forte relation entre le recrutement des poissons et les captures, et l'inondation saisonnière. Dans le delta central du Niger, par exemple, Lae (1992) a montré l'existence d'une bonne corrélation entre les captures totales de poissons et la durée et l'étendue de l'inondation. La plupart des grands fleuves tempérés n'ont plus de plaine inondable, du fait des aménagements. Néanmoins, le rôle de la crue dans le recrutement des poissons a été confirmé pour la Volga (Gorski, 2010). Ce sont les espèces rhéophiles qui libèrent leurs œufs dans les plaines inondées qui sont concernées. Il existe une « fenêtre d'opportunité » pour la ponte et la croissance des jeunes poissons, en fonction de la synchronisation, de la durée et de l'importance de la crue.

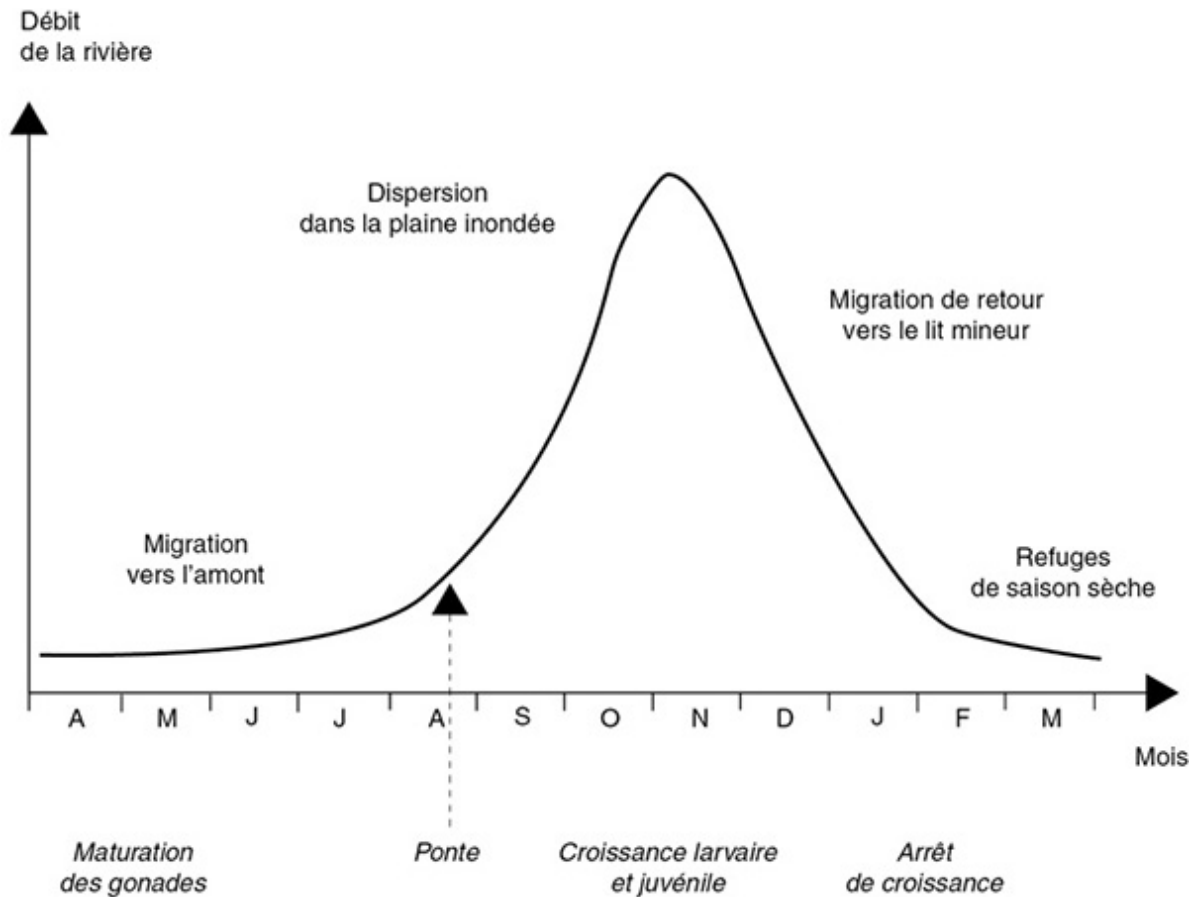


Figure 6.7 Le comportement des poissons au cours du cycle hydrologique saisonnier.

Lors de la crue, les poissons quittent le cours principal pour utiliser les habitats et les ressources alimentaires disponibles dans la plaine inondée, où beaucoup se reproduisent. Lors de la décrue, ils regagnent le lit mineur, qui sert de zone refuge à l'étiage.

Rappelons, si nécessaire, que la crue n'est pas une « perturbation » pour les cours d'eau, comme on le dit parfois. La crue, même si elle est brutale, fait partie du fonctionnement « normal » du système. En outre, le rythme inondation/exondation est plus ou moins cyclique dans les rivières relativement larges, de telle sorte que les organismes vivants ont développé des adaptations et des stratégies opportunistes qui leur permettent d'exploiter efficacement la zone de transition entre le milieu aquatique et le milieu terrestre, plutôt que de dépendre exclusivement des ressources des milieux aquatiques permanents. C'est une autre occasion de rappeler qu'une part

importante de la matière organique des cours d'eau (et donc de l'alimentation des espèces aquatiques) est d'origine exogène, et provient des milieux terrestres (débris végétaux, fruits, insectes, etc.).

La connectivité/connexion horizontale

Le concept de connectivité est issu de l'écologie des paysages et des notions de dynamique des taches. C'est l'ensemble des processus qui font que les sous-populations d'une population subdivisée peuvent être interconnectées, au moins épisodiquement, pour constituer un seul ensemble démographique que l'on appelle métapopulation. Ce concept de connectivité, pris dans un sens fonctionnel, est un peu différent de celui de connexion structurale, qui est la possibilité physique d'échanges, par des connexions épisodiques ou permanentes, entre unités écologiques (Amoros et Petts, 1993).

Selon les caractéristiques géomorphologiques locales, on observe dans une section transversale du cours d'eau l'existence de nombreux habitats dans le lit majeur : le chenal principal, ou lit mineur, la zone rivulaire adjacente au chenal avec des forêts de bois durs et des ripisylves, la plaine d'inondation avec des plans d'eau plus ou moins importants et plus ou moins permanents, des marais, des bras morts, des bras secondaires, des formations herbacées, etc. Ces milieux, qui occupent une position intermédiaire entre les milieux terrestres et les milieux d'eau profonde, sont désignés sous le terme général d'écotones ou d'annexes fluviales. Chacune de ces zones héberge des populations et des communautés animales ou végétales qui interagissent de manière passive ou active. En période d'étiage, beaucoup de ces populations sont isolées les unes des autres. Lors des crues annuelles ou exceptionnelles, les eaux qui s'étalent transversalement dans la plaine d'inondation inondent temporairement ces annexes fluviales, permettant ainsi des échanges avec le cours principal du fleuve pour ces populations fragmentées.

Chacune des pièces de la mosaïque joue ainsi un rôle dans la dynamique de l'ensemble. Les forêts alluviales produisent de la

matière organique qui sera transportée et décomposée dans la rivière. Les bras morts, les bras secondaires et les lacs de la plaine d'inondation sont de véritables réservoirs biologiques, et constituent des zones de frayères pour certaines espèces de poissons, dont les alevins trouvent là des conditions plus favorables à leur développement (courant plus lent, nourriture plus riche et diversifiée).

La connectivité verticale : un fleuve peut en cacher un autre

L'hydrosystème intègre un compartiment sous-fluvial essentiel à sa régulation (Gibert *et al.*, 1996). Les échanges nappe-rivière s'effectuent, si la perméabilité le permet, au travers de la zone hyporhéique qui est définie simplement comme l'ensemble de sédiments saturés en eau, situés au-dessous et à côté d'une rivière, contenant une certaine proportion d'eau de surface (Datry *et al.*, 2008).

De grandes quantités d'eau de surface s'infiltrent dans les sédiments situés dans la partie amont de la plaine alluviale, se mélangent aux eaux souterraines et circulent sur plusieurs kilomètres avant de ressortir à la surface. Ce compartiment souterrain du fleuve peut atteindre des épaisseurs très importantes de quelques décimètres à près d'une centaine de mètres et héberger dans ses interstices tout un monde vivant, depuis la bactérie jusqu'aux invertébrés le plus évolués.

Les échanges nappe-rivière sont variables dans le temps, et le sens des échanges peut être modifié selon les périodes de basses ou de hautes eaux. Une rivière peut alimenter la nappe en période de hautes eaux, ou au contraire la drainer en période de basses eaux.

En raison de sa position d'interface entre les eaux de surface et les eaux souterraines, la zone hyporhéique est occupée par un mélange hétérogène d'espèces adaptées aux eaux souterraines, ou provenant des eaux de surface. Cette faune, qui s'alimente sur le biofilm, assure le transfert d'énergie entre les bactéries et les espèces de grande

taille. Elle participe au fractionnement et au recyclage de la matière organique particulière.

Diverses observations laissent penser que la zone hyporhéique pourrait servir de zone refuge pendant les crues qui perturbent les sédiments superficiels, pour les organismes qui vivent normalement à la surface du fond. Cette possibilité de refuge dépend néanmoins de la capacité d'accueil du substrat (épaisseur des alluvions, taille des interstices, etc.). La zone hyporhéique est également un lieu probable de nursery pour de nombreux organismes peuplant le lit du fleuve. Les jeunes stades larvaires y trouvent en effet un hydrodynamisme plus faible qu'en surface et une pression de prédation moindre.

Le rôle de la végétation riveraine

La végétation rivulaire participe à la structuration de l'habitat : bois mort et arbres contribuant à la diversification du chenal, ainsi qu'à la production de matière organique végétale et animale qui entre dans le fonctionnement trophique du cours d'eau. On parle de végétation rivulaire ou de ripisylves (littéralement « bois des rives ») pour la végétation proche de l'eau, et de forêts alluviales pour les formations occupant la plaine alluviale et qui sont liées à la présence d'une nappe alluviale superficielle.

La végétation riveraine forme un véritable corridor, très visible dans le paysage. En réalité, cette végétation riveraine est une mosaïque complexe de formations herbacées, arbustives et arborées, à l'image de l'hétérogénéité spatiale du milieu, qui résulte des perturbations le plus souvent provoquées par les crues. La composition et la structure de la ripisylve sont liées aux inondations plus ou moins fréquentes qu'elles subissent et/ou à la présence d'une nappe d'eau peu profonde liée au cours d'eau. Il peut s'agir de forêts à bois tendre (niveau de perturbation élevé) ou de forêts à bois dur (niveau de perturbation plus faible) (Piegay *et al.*, 2003). Le long du Rhin et du Danube subsistent encore quelques lots des remarquables forêts galeries qui bordaient autrefois les grands fleuves européens. D'une exceptionnelle richesse en espèces ligneuses, elles sont le reflet simplifié de ce que furent les forêts paléo-tempérées chaudes qui ont

dominé une grande partie de l'Europe à la fin du Tertiaire. On y trouve en particulier chênes pédonculés, ormes, frênes, peupliers, ainsi que des buissons et des lianes qui lui donnent l'aspect d'une forêt vierge comme dans certains lots forestiers alsaciens.

Le rôle des forêts riveraines, situées à l'interface entre les systèmes terrestres et fluviaux dans le fonctionnement de l'hydrosystème, est important mais souvent sous-estimé. C'est en effet :

- Une source importante de matière organique pour les hydrosystèmes, sous forme de feuilles, de fruits et de divers débris organiques (végétaux et animaux) qui tombent dans l'eau, où ils seront dégradés par les micro-organismes décomposeurs. Une saulaie de la Garonne peut apporter au fleuve six tonnes de litière par an et par kilomètre de cours (Chauvet, 1989). Dans les petites rivières amont, au cours rapide, où la production primaire algale est faible, cet apport de litières est la principale source d'énergie disponible pour les organismes, et constitue la base de la chaîne alimentaire.
- Un filtre pour les éléments dissous. Par leur réseau racinaire, les forêts riveraines agissent comme des filtres qui éliminent partiellement les nutriments (notamment les nitrates) ou les substances toxiques véhiculées par les eaux souterraines transitant de la plaine vers la rivière. En période de croissance végétale, les plantes absorbent en effet les nutriments (azote et phosphore) qui leur servent d'engrais. Mais ces forêts alluviales ont également une capacité de filtration étonnamment élevée vis-à-vis des nitrates, imputable, en période de hautes eaux, aux conditions d'anaérobiose des sols de la forêt alluviale, qui favorisent la réduction de ces nitrates. Le carbone, abondant dans ces zones en raison de la décomposition du matériel végétal, fournit l'apport énergétique et nutritionnel nécessaire à l'activité des bactéries anaérobies. Ainsi le cycle hydrologique et le cycle de croissance végétale participent-ils selon les saisons à l'élimination des nitrates.
- Une fonction d'abri et d'habitat. Une fonction majeure de la végétation riveraine est d'entretenir la stabilité des berges et de réduire l'érosion grâce à son réseau racinaire, qui constitue un maillage biologique capable de retenir les particules minérales.

Ce réseau racinaire joue également une fonction d'abri pour de nombreuses espèces animales. Les troncs et les grosses branches qui tombent dans l'eau (embâcles) créent en outre des petites retenues et contribuent à la diversification des habitats.

Dans les petits cours d'eau, la canopée, qui filtre la lumière incidente, contribue à rafraîchir la température de l'eau en été et réduit indirectement la croissance des végétaux aquatiques en limitant l'éclairement.

La végétation riveraine a également une fonction d'habitat permanent ou temporaire pour les espèces terrestres (oiseaux, mammifères, amphibiens) et peut favoriser leur propagation en raison de sa structure en corridor. On y trouve ainsi de nombreuses espèces d'oiseaux observées en forêt ou en prairie, et des espèces plus spécifiques comme le martin-pêcheur. Le corridor naturel de la vallée de l'Ain compte ainsi 180 espèces d'oiseaux, dont 100 espèces nicheuses.

Pour en savoir plus

Amoros C. et Pett G.E., 1993. *Hydrosystèmes fluviaux*. Masson, 300 p.

Belliard J., Boët P., Tales E., 1997. Regional and longitudinal patterns of fish community structure in the Seine River basin, France. *Env. Biol. Fishes*, 50: 133-147.

Blandin P. et Lamotte M., 1988. Recherche d'une entité écologique correspondant à l'étude des paysages : la notion d'écocomplexe. *Bull. Écol.*, 19(4), p. 547-555.

Bovee K.D., Milhous R.T., 1978. Hydraulic simulation in instream flow studies: theory and techniques. *Instream Flow Information Paper*. n° 5. USFWS. IFG. FWS/OBS-78/33. Ft. Collins, Colorado.

Chauvet E., 1989. Production, flux et décomposition des litières en milieu alluvial. Dynamique et rôle des hyphomycètes aquatiques dans le processus de décomposition. Université Paul-Sabatier, Toulouse III.

Colloque « habitat-poissons », Lyon, 1994. *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 1995, 337/338/339.

Datry T. *et al.*, 2008. La zone hyporhéique, une composante à ne pas négliger dans l'état des lieux et la restauration des cours d'eau. *Ingénieries*, 54: 3-18.

Gibert J., Marmonnier P. et Dole-Olivier M.J., 1996. Un fleuve peut en cacher un autre. *La Recherche*, p. 44.

Gorski K., 2010. Floods and fish. Recruitment and distribution of fish in the Volga river floodplain. *Freshwater Biology*, 55(7)/1509-1519.

Grenouillet G., Pont D., Hérissé C., 2004. Within-basin fish assemblage structure: the relative influence of habitat versus stream spatial position on local species richness. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 61: 93-102.

Hanse A. *et al.*, 2008. Terrestrial-aquatic linkages: Understanding the flow of energy and nutrients across ecosystem boundaries. Dpt of Fish, Wildlife and Conservation Biology, Colorado State University.

Junk W.J., Bayley P.B., Sparks R.E., 1989. The flood pulse concept in river-floodplain systems. In Dodge D.P. (ed), *Proceedings of the International Large River Symposium*, p. 110-127. Can. Spec. Publ. Fish. Aquat. Sci., 106.

Lae R., 1992. Influence de l'hydrologie sur l'évolution des pêcheries du delta central du Niger, de 1966 à 1989. *Aquat. Living Resour.*, 5, 115-126.

Lamouroux N., Cattaneo F., 2006. Fish assemblages and stream hydraulics: consistent relations across spatial scales and regions. *River Research and Applications*, 22, 727-737.

Lévêque C., 1995. L'habitat : être au bon endroit au bon moment ? *Bulletin français de pêche et pisciculture*, n° 337-338-339, p. 9-20.

Lowe-McConnell R. H. (1985). The biology of the river systems with particular reference to the fishes. In Grove A.T. (ed), *The Niger and its Neighbors*, p. 101-140. Rotterdam, A. A. Balkema.

Magnuson J.J., 1990. Long-term ecological research and the invisible present. *BioScience*, 40(7), 495-501.

Mérigoux S. et Dolédec S., 2004. Hydraulic requirements of stream communities: a case study on invertebrates, *Freshwater Biology*, 49: 600-613.

Meybeck M., de Marsily G. et Fustec E., 1998. La Seine en son bassin : fonctionnement écologique d'un système fluvial anthropisé. Elsevier.

Oberdorff T., Pont D., Hugueny B., Chessel D., 2001. A probabilistic model characterizing fish assemblages of French rivers: a framework for environmental assessment ▣. *Freshwater Biology*, 46 (3) : 399-415.

Peiry J.-L., 2002. Le corridor fluvial, lieu d'expansion du fleuve. Les grands fleuves du patrimoine mondial : de la crise à la culture du risque (sur le web).

Piegay H., Pautou G., Ruffinoni C., 2003. *Les forêts riveraines des cours d'eau. Écologie, fonctions et gestion*. Institut pour le développement forestier, 464 p.

Sabaton C., 2003. Méthode des microhabitats dans les cours d'eau. Approche IFIM et approche ESTIMHAB.

Sabaton C., Souchon Y., Lascaux J.-M., Vandewalle F., Baran P., Baril D., Capra H., Gouraud V., Lauters F., Lim P., Merle G. et Paty G., 2004. The "Guaranteed Flow Working Group": a French evaluation of microhabitat component. *Hydroécologie appliquée*, 14: 245-270.

Southwood T.R.E., 1977. Habitat, the templet for ecological strategies. *Journal of Animal Ecology*, 46, 337-365.

Statzner B., Higler B., 1986. Stream hydraulics as a major determinant of benthic invertebrate zonation patterns. *Freshwater Biology*, 16: 127-139.

Statzner B., Gore J.A., Resh V.H., 1988. Hydraulic stream ecology: observed patterns and potential applications. *Journal of the North American Benthological Society*, 7, 307-360.

Statzner B., Müller R., 1989. Standard hemispheres as indicators of flow characteristics in lotic benthos research. *Freshwater Biology*, 21: 445-459.

Statzner B., Resh V.H., Dolédec S., 1996. A synthesis of long-term ecological research on the upper Rhône river in the context of concurrently developed ecological theory. *Large Rivers*, vol. 1-4, p. 45-50.

Statzner B., Hildrew A.G., Resh V.H., 2001. Species traits and environmental constraints: entomological research and the history of ecological theory. *Annual Review of Entomology*, 46: 291-316.

Strahler A.N., 1957. Quantitative analysis of watershed geomorphology. *Transactions American Geophysical Union*, 38: 913-920.

Thorp J.H., Thoms M.C., Delong M.D., 2008. The Riverine Ecosystem Synthesis: toward Conceptual Cohesiveness in River Science. Academic Press.

Townsend C.R., Hildrew A.G., 1994. Species traits in relation to a habitat templet for river systems. *Freshwater Biology*, 31(3): 265-275.

Vannote R.L., Minshall G.W., Cummins K.W., Sedell J.R., Cushing C.E., 1980. The river continuum concept. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 37: 130-137.

Wasson J.G., Malavoi J.R., Maridet L., Souchon Y., Paulin L., 1998.  *Impacts écologiques de la chenalisation des rivières*. Cemagref éditions, coll. Études, série Gestion des milieux aquatiques, n° 14, 158 p.

¹⁰Colloque Habitat-poissons, Lyon, 1994 ; *Bulletin français de la pêche et de la pisciculture*, 1995, n °337/338/339.

Une biodiversité « hybride »

« L'idéologie "nationaliste", très répandue chez les naturalistes et dans le grand public, selon laquelle il faudrait conserver à tout prix les espèces et les écosystèmes locaux et endémiques, mais aussi détruire tous les "envahisseurs" est une aberration qui ignore ce que l'on sait d'une histoire de la vie faite d'une succession de peuplements, repeuplements, disparitions et invasions. La sélection naturelle ne tient aucun compte de la "moralité" de l'écologie politique. Elle ne conserve rien par principe, élimine le non viable et favorise le plus fécond tant que le milieu permet la croissance. Quand ce n'est pas le cas, c'est une crise, et les espèces qui la subissent, humains compris, changent ou disparaissent. La nature n'a besoin ni de sauveurs, ni de protecteurs, ni de conservateurs : elle continue dans tous les cas ! »

André Langaney (préface in Alexandra Liarsou, 2013)

Il y a une réalité indiscutable pour les naturalistes : la diversité des espèces animales et végétales présentes dans nos cours d'eau. Les taxonomistes et les biologistes ont consacré beaucoup d'efforts à inventorier cette diversité, un travail qui est loin d'être achevé. Quant aux écologistes, ils ont surtout étudié la dynamique des relations espèces-habitats et le rôle des espèces dans le fonctionnement des systèmes écologiques. Quelques-uns, seulement, se sont aventurés à étudier le fonctionnement de l'hydrosystème, bien que beaucoup y fassent référence de manière incantatoire.

La biodiversité sert actuellement de support à des jeux de rôle et à des enjeux de pouvoir autour des représentations de la nature. Le terme fut d'abord un cri d'alarme lancé par quelques scientifiques inquiets de la disparition des forêts tropicales, qui ont joué ainsi leur rôle de lanceurs d'alerte. Cependant, les ONG de conservation de la nature ont rapidement investi le concept, qui est devenu le fer de lance de leurs revendications en matière de protection de la nature, avec la dénonciation des impacts sans précédents des activités humaines sur la planète. Les médias ont fait de la surenchère sur le

mode dramatique pour relayer des affirmations souvent spéculatives concernant l'érosion de la biodiversité et la mise en danger de la vie humaine qui pourrait en résulter. Nous ne sommes plus ici dans le seul domaine scientifique mais dans une mise en scène bien organisée de groupes de pression qui essaient de faire prévaloir leurs idées, parfois leurs idéologies. Bref, il y a souvent confusion entre une écologie dite politique et une écologie scientifique (Lévêque, 2013). Dans ce contexte, la biodiversité a même été érigée en juge de paix pour évaluer la qualité des eaux continentales dans le cadre de la DCE. Le fameux « bon état écologique », si difficile à définir et surtout à rendre opérationnel, reste un sujet de débat chez les scientifiques et les gestionnaires (voir chapitre 8). Quoi qu'il en soit, le terme « biodiversité » est maintenant devenu un mot sésame. Le large consensus apparent dont il fait l'objet peut d'ailleurs laisser perplexe. C'est en réalité un mot-valise, ou une auberge espagnole, dans laquelle chacun apporte ce qu'il souhaite y retrouver... (Lévêque, 2008).

Les mythes de la nature vierge et de l'équilibre

L'écologie scientifique, à l'heure actuelle, peine à se démarquer d'un certain nombre de concepts fondateurs dont la pertinence est remise en cause, en particulier le fameux équilibre de la nature. L'histoire de l'évolution nous apprend que la biodiversité est le produit du changement, pas du *statu quo*, et que les systèmes écologiques s'inscrivent sur des trajectoires spatiales et temporelles. Une réalité difficile à intégrer car les notions d'équilibre et de stationnarité ont fortement imprégné nos manières de penser. Ces notions s'appuient notamment sur un autre mythe largement partagé dans la culture occidentale : celui de l'existence d'une nature vierge de toute activité humaine (le jardin d'Eden), qui prend racine dans des croyances religieuses selon lesquelles le monde a été créé par un dieu souverain.

Au sens strict, la nature, c'est ce qui existe en dehors de l'homme, ce qui n'a pas été modifié et artificialisé par l'homme. Cette vision d'une nature vierge et sauvage (que l'on appelle parfois naturalité) renvoie

à une représentation romantique et souvent nostalgique de la nature. La nature « vierge » symbolise, surtout de nos jours, le vrai, l'authentique, le sain... par opposition aux discours sur les dégradations causées par l'homme à la nature. Mais, premier paradoxe : ce que nous appelons nature, en France, ce sont en réalité des paysages façonnés et construits par l'homme depuis des millénaires... nos paysages ruraux (Mathieu et Jollivet, 1989 ; Micoud, 2005).

Le mythe de l'équilibre (ou de la stationnarité) est quant à lui largement partagé par les conservationnistes, les écologues et les gestionnaires. On parle fréquemment d'équilibre et de stabilité des écosystèmes, ou de résilience. L'idée est simple : il existerait un état idéal de la nature que les perturbations d'origine anthropique viennent altérer, créant ainsi des « déséquilibres ». Un système écologique, tel un ludion, aurait la capacité de retourner à son état initial si la perturbation s'arrête. Or de nombreux écologues reconnaissent maintenant que les systèmes écologiques évoluent sur des trajectoires temporelles, sans retour en arrière possible. En d'autres termes, ils sont capables d'évoluer en intégrant les transformations dont ils font l'objet, sans revenir pour autant à leur état antérieur (Lévêque, 2013). Cela relativise le discours dramatisant, sur l'existence de points de rupture. Bien évidemment, si une rivière s'assèche, il y a rupture. Mais ce phénomène est de nature physique, pas biologique.

En réalité cette notion de système à l'équilibre qui nous vient de la physique, n'a pas de sens pour les systèmes écologiques. Il est possible que, sur de courtes périodes, on puisse avoir l'impression d'une certaine stabilité. Mais sur le long terme les systèmes écologiques se modifient profondément. Néanmoins, plusieurs concepts de l'écologie scientifique, sous des formes nuancées, sont porteurs de l'idée d'équilibre de la nature. Les scientifiques eux-mêmes parlent fréquemment du « bon état » des écosystèmes ou de systèmes de référence avant perturbation (Lévêque, 2013 ; Lévêque *et al.*, 2010).

Même si l'équilibre de la nature n'existe pas, nous aimons croire qu'il en est ainsi... au moins à court terme. En outre, nous avons développé des outils d'analyse et de gestion, ainsi que des concepts, qui s'appuient sur la notion d'équilibre et dont la remise en cause, pourtant nécessaire, n'est pas sans poser de nombreuses questions sur les choix que nous avons faits jusqu'ici en matière de gestion de l'environnement. On voit pourtant, avec les récents travaux sur l'adaptation au changement climatique, le besoin d'anticiper des futurs différents des situations que nous connaissons lorsqu'on est amené à prendre des décisions en matière de protection ou d'aménagement des milieux.

Composition et organisation des peuplements biologiques

Les scientifiques sont confrontés aux problèmes suivants : à quoi servent toutes les espèces présentes dans un écosystème ? Toutes les espèces sont-elles vraiment indispensables au « bon » fonctionnement de cet écosystème ? Avec les questions afférentes : quelles sont les conséquences de la disparition de certaines espèces ? Ou, question moins fréquemment posée alors que le phénomène n'est pas rare : quelles sont les conséquences d'un accroissement du nombre d'espèces consécutif à des introductions ou à des migrations ?

Ces différentes questions sont fondamentales pour la science écologique, ainsi que pour les gestionnaires qui ont la charge de protéger ou de restaurer les systèmes écologiques. Selon les réponses apportées, la manière de concevoir la gestion ne sera pas la même. Faut-il réellement préserver l'intégrité des écosystèmes, comme l'affirment certains, pour que le système fonctionne ? Faut-il faire systématiquement la chasse aux invasives ? Le bon sens nous dit que toute modification de la composition des peuplements induit automatiquement un effet ! Le problème est de savoir quelle est l'ampleur de la modification, et d'évaluer ses conséquences pour l'écosystème, mais aussi pour la société. C'est ici que les difficultés

commencent, car si la littérature scientifique abonde en spéculations plus ou moins plausibles, les démonstrations sur le terrain sont rares !

La richesse en espèces des eaux continentales : le « freshwater paradox »

Il y a environ 130 000 espèces animales inventoriées dans les milieux aquatiques continentaux (Balian *et al.*, 2008), si l'on exclut bien entendu les micro-organismes, qui font partie intégrante de la diversité biologique, mais dont on ne parle guère... Ces derniers sont pourtant les acteurs indispensables des grands cycles biogéochimiques et ils jouent, de ce fait, un rôle bien plus important dans le fonctionnement des hydrosystèmes que les invertébrés, mais ils sont beaucoup plus difficiles à étudier. Sur les 130 000 espèces, il y a environ 75 000 insectes, 12 000 crustacés, 5 000 mollusques et 18 000 vertébrés, essentiellement des poissons (12 à 13 000) et des amphibiens.

Le paradoxe réside dans le fait que les systèmes aquatiques d'eau douce ne représentent qu'une très faible proportion de la surface marine et de la surface terrestre : seulement 0,01 % ! Or les 130 000 espèces animales sont à comparer aux quelque 250-300 000 espèces recensées en milieu marin qui occupent 70 % de la surface du globe (hors micro-organismes !) et au quasi-million d'espèces animales connues en milieu terrestre. Sachant bien évidemment que ces chiffres sont tous sous-estimés. Qui plus est, sur les quelque 30 000 espèces de poissons actuellement connues, 13 000 à 14 000 vivent en eau douce ou saumâtre... soit un peu moins de la moitié. Quand on compare les surfaces relatives des milieux marins et d'eau douce, on peut s'interroger sur les raisons d'une telle disproportion.

Une cause probable réside dans le fait que les systèmes aquatiques continentaux se comportent comme des îles continentales. Les bassins sont isolés les uns des autres, en général, ou ne sont en connexion que de manière accidentelle lors d'événements

géologiques tels que les captures de cours d'eau, ou des mouvements orogéniques. Les échanges inter-bassins sont donc difficiles pour les poissons, les mollusques ou les crustacés, qui ne peuvent franchir naturellement les barrières terrestres, alors que d'autres groupes, comme les insectes, peuvent le faire sans difficultés.

Cet isolement relatif des bassins fluviaux peut expliquer l'existence de nombreuses espèces endémiques, à l'instar de ce que l'on observe sur les îles terrestres. En d'autres termes, la fragmentation serait un facteur favorable à la spéciation, comme nous le suggère la théorie de la spéciation par vicariance (populations séparées géographiquement et qui évoluent indépendamment). Cela va un peu à l'encontre d'une idée largement répandue en milieu terrestre selon laquelle la fragmentation est source d'appauvrissement de la biodiversité.

De la nature des peuplements

Il existe un débat récurrent en écologie concernant l'origine et la nature des communautés animales et végétales, débat qui est en partie lié à la notion de stabilité des systèmes écologiques. Deux grandes hypothèses s'affrontent, que l'on peut résumer schématiquement de la manière suivante :

- L'hypothèse déterministe. Pour un courant historique de l'écologie, l'écosystème est un cadre dans lequel des groupes d'espèces interagissent. La stabilité d'une communauté et sa résilience aux perturbations dépendent alors de l'équilibre qui s'établit entre les membres de la communauté que l'on suppose stable du point de vue de sa composition. Dans cette hypothèse, on donne donc la priorité aux interactions biotiques qui structurent la communauté. Le corollaire est que, si des espèces disparaissent, le système ne fonctionne plus correctement.
- L'hypothèse stochastique. Elle défend l'idée selon laquelle la présence d'une espèce au sein d'une communauté obéit à une logique individuelle. Les espèces sont là parce que chacune y trouve les conditions nécessaires à l'accomplissement de son cycle biologique. Les peuplements seraient ainsi des

assemblages aléatoires d'espèces dont la présence simultanée est le résultat de la dispersion et de la colonisation (au hasard) de populations occupant des aires géographiques qui se chevauchent, pour des raisons historiques ou conjoncturelles. Dans ce contexte, les peuplements seraient donc des assemblages en perpétuel changement, avec un renouvellement des espèces constitutives sous l'effet conjugué des colonisations et des extinctions, gouvernées, sur le long terme, par les modifications des facteurs de l'environnement. Cette hypothèse n'exclut pas les interactions biotiques mais celles-ci deviennent, en quelque sorte, des variables d'ajustement. Elle a été recyclée sous le nom plus sexy de « théorie neutraliste de la biodiversité » (Hubbell, 2001) : la présence ou l'absence d'espèces est sous la dépendance de paramètres propres à chacune des espèces, et non sous la dépendance des autres espèces présentes.

Selon que l'on privilégie l'une ou l'autre hypothèse, on ne verra pas de la même manière la question des introductions d'espèces, ni les modifications des peuplements résultant des changements climatiques ou des activités humaines. Pour l'approche déterministe, il faut conserver les peuplements dans leur intégrité afin d'assurer le bon fonctionnement de l'écosystème. Pour l'approche stochastique, les peuplements sont évolutifs et les écosystèmes s'ajustent en permanence aux introductions ou aux disparitions d'espèces... Deux points de vue un peu extrêmes, tant sur le plan conceptuel que sur le plan opérationnel !

Or nous sommes confrontés au dilemme suivant : si l'approche stochastique semble gagner la bataille en écologie scientifique, c'est la représentation déterministe qui est encore largement partagée par le public et les gestionnaires des écosystèmes, qui restent sur l'idée que les écosystèmes sont en équilibre. Introduire l'idée que le hasard et la contingence gouvernent la dynamique des peuplements, c'est ouvrir la boîte de Pandore et accepter l'incertitude. Aussi n'est-on pas surpris que la notion de climax soit encore reprise dans certains travaux scientifiques.

Saturation des peuplements en espèces : un concept sans intérêt ?

L'hypothèse déterministe a engendré le concept de saturation des peuplements. Si les interactions biotiques structurent les communautés biologiques, il doit être possible que ces interactions limitent le nombre d'espèces susceptibles de coexister dans une communauté stable. Selon Cornell et Lawton (1992), dans les communautés riches en espèces, il existerait ainsi des valeurs limites de la richesse spécifique que l'on peut aussi considérer comme un niveau de saturation en espèces.

Ce concept a été à l'origine de nombreux travaux montrant que la plupart des écosystèmes n'étaient pas saturés en espèces... à tel point que Sax *et al.* (2005) ont posé la question de l'utilité du concept de saturation. De fait, dans les eaux courantes européennes, on constate que les peuplements de poissons, par exemple, se sont enrichis de nombreuses espèces au cours du temps, sans pour autant entraîner la disparition des espèces déjà présentes. Un exemple qui va à l'encontre des affirmations selon lesquelles les introductions d'espèces entraînent une érosion de la biodiversité.

Composition des peuplements

La composition et la richesse en espèces d'un bassin versant sont le résultat de divers facteurs historiques et contemporains. Divers auteurs, après Tonn (1990), ont montré que les peuplements sont sous la dépendance de facteurs agissant à différentes échelles spatiales. Il existe ainsi une série de filtres hiérarchiques qui expliquent que la richesse en espèces d'un bassin versant n'est qu'un sous-ensemble d'un pool d'espèces beaucoup plus vaste à l'échelle régionale ou continentale. Parmi les paramètres en cause, il y a notamment l'histoire géologique et climatique et les caractéristiques de l'habitat (figure 7.1).

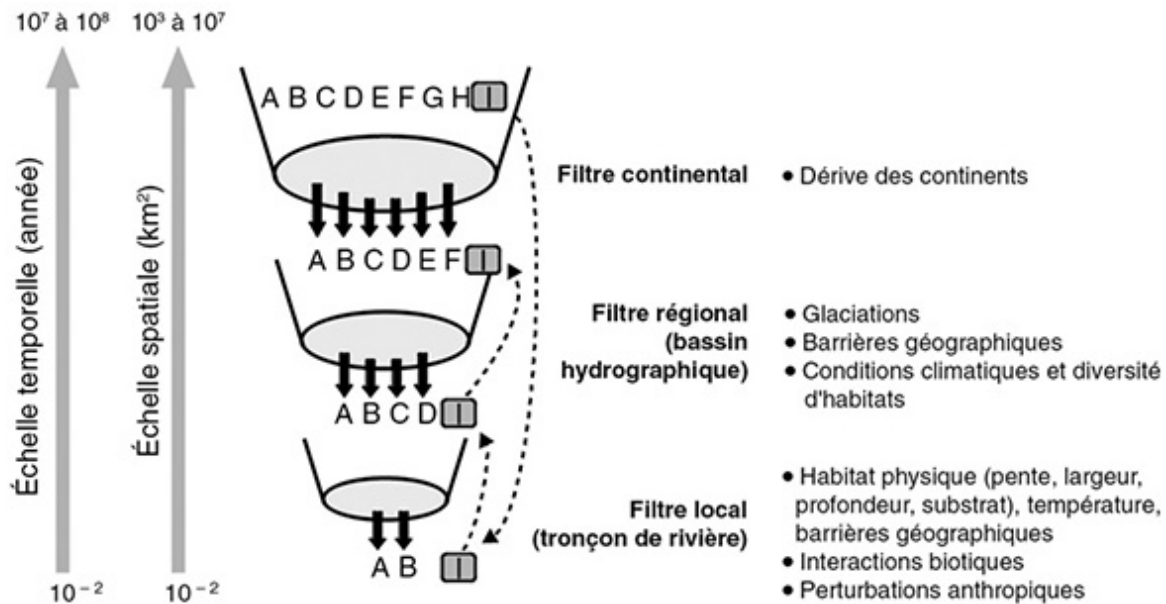


Figure 7.1 Modèle conceptuel expliquant que la composition des peuplements ichtyologiques est le résultat de facteurs opérant à diverses échelles de temps et d'espace, *via* une série de filtres géographiques. (Beisel et Lévêque, 2010)

Les relations aire-richeesse en espèces

Il existe de nombreux exemples d'une relation empirique entre la richesse en espèces d'un groupe zoologique et la surface du bassin versant ou le débit du cours d'eau à l'embouchure. C'est le cas des peuplements de poissons (figure 7.2). Cela appelle quelques commentaires :

- La relation aire/nombre d'espèces est une observation empirique qui ne doit pas occulter le fait qu'une transformation log/log masque une grande variabilité selon les bassins.
- Quelles sont les explications possibles à ce phénomène ? Une réponse intéressante est que la diversité des habitats est plus grande lorsque la surface du bassin augmente, ce qui expliquerait que les peuplements soient d'autant plus riches.
- Cette relation est différente selon les zones biogéographiques. Ainsi, si l'on compare les rivières européennes avec les rivières africaines, ces dernières sont globalement plus riches en espèces. Ici encore, une explication a été avancée : il y a beaucoup plus d'espèces de petites tailles dans les rivières africaines que dans les rivières européennes, en raison d'une

histoire moins perturbée. Ce qui veut dire que la relation aire/espèces est contingente de l'histoire des peuplements à l'échelle régionale.

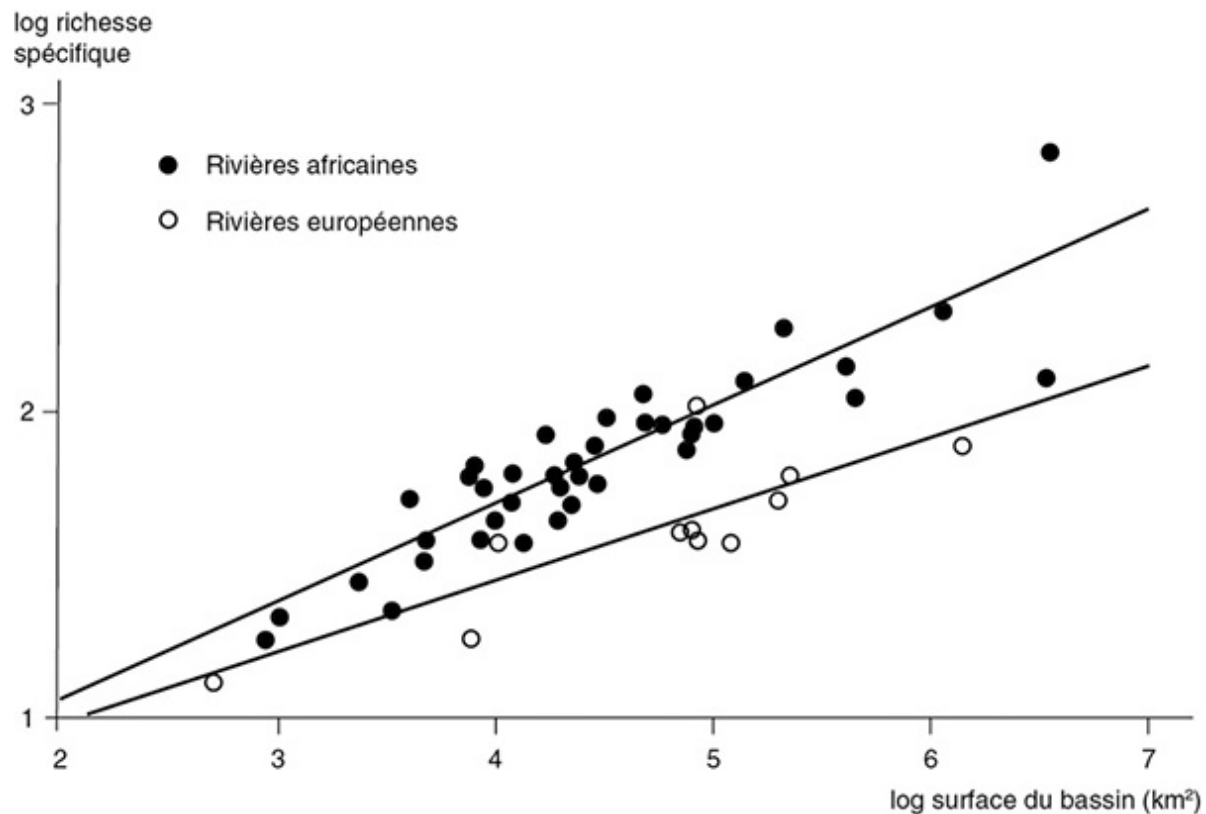


Figure 7.2 Richesse spécifique et surface du bassin hydrographique : comparaison entre les rivières européennes et les rivières africaines. (Beisel et Lévêque, 2010)

La biodiversité a une histoire et un futur

La diversité biologique n'est pas issue de la génération spontanée. Ce n'est pas non plus une création divine, bien que certains croient toujours que la Terre et ses habitants ont été créés par Dieu^[11]... La biodiversité a une histoire qui est celle de l'évolution, elle-même fortement liée aux événements géologiques, aux changements climatiques, et plus récemment à l'action de l'homme. La distribution actuelle des faunes et des flores résulte de l'interaction de ces paramètres à différentes échelles temporelles. En d'autres termes, la diversité biologique est le produit du changement... sur des échelles

de temps bien plus longues en général que celle de la vie humaine, durant laquelle on peut avoir l'impression d'une « relative stabilité » de la nature. Les peuplements biologiques des rivières n'échappent pas à cette règle puisque la dynamique des systèmes aquatiques est sous contrainte directe des facteurs climatiques, et notamment des précipitations.

Mais la situation actuelle n'a rien de définitif. On voit bien qu'avec le réchauffement climatique, nombre d'espèces sont en train de modifier leurs aires de répartition. Il en résulte que l'histoire de la diversité biologique est contingente, c'est-à-dire qu'elle est différente selon les régions du monde. Ainsi, au cours des derniers millions d'années, l'hémisphère nord a connu plusieurs périodes glaciaires avec des conséquences importantes sur la biodiversité, alors que les régions tropicales ont été épargnées. À des échelles temporelles bien plus courtes, des modifications du régime des pluies, à l'exemple de ce qu'a connu le Sahel au cours des dernières décennies, ont également un impact considérable sur la composition des écosystèmes.

La nature stochastique des peuplements de poissons européens

La faune des eaux continentales européennes était dominée au Mésozoïque, au Paléocène et à l'Éocène (soit entre – 250 et – 38 millions d'années) par des lignées de poissons qui sont absentes aujourd'hui du continent. Certaines de ces lignées se retrouvent dans la faune nord-américaine contemporaine, alors que d'autres qui avaient au contraire des affinités africaines ont disparu. À la fin de l'Éocène, il y a environ – 35 Ma, la température a chuté de manière significative, entraînant la disparition en Europe des biomes tropicaux. Ils furent remplacés par des biomes tempérés vers – 33 Ma, avec notamment l'arrivée de nombreux Cyprinidae ouest-asiatiques *via* le bassin ponto-caspien, ainsi que du brochet (*Esox lucius*), originaire d'Amérique du Nord grâce à des ponts intercontinentaux (Le Gall, 2010). En réalité, les familles de poissons

d'eau douce actuellement présentes en Europe se sont installées à partir de l'Oligocène (environ – 25 Ma).

Avec la surrection des Pyrénées à l'Oligocène et celle de l'arc alpin au Miocène moyen (14-16 Ma), les grands bassins fluviaux européens se mettent en place. À la fin du Miocène (– 7 Ma), début du Pliocène (– 4 à – 5 Ma), les Cyprinidae se sont diversifiés et les genres actuels étaient déjà présents. Arrive alors le Pléistocène (– 2,5 Ma), caractérisé par des cycles glaciaires-interglaciaires et des écarts de température importants. Les régions situées au nord de l'Europe sont particulièrement froides, alors que celles situées au sud des Pyrénées et de l'arc alpin connaissent des conditions plus clémentes.

Au dernier maximum glaciaire, il y a dix-huit mille ans, la température en métropole avait enregistré une chute de 12 à 15° C. La France échappe de peu à l'emprise des glaces, qui descendent jusqu'en Grande-Bretagne. Les Alpes néanmoins sont sous les glaces et le sol est gelé en permanence et en profondeur (permafrost) sur une grande partie du territoire. Dans certaines régions, il pouvait y avoir de courtes périodes de dégel. L'eau était massivement stockée dans de gigantesques glaciers, et le niveau de la mer était 120-130 m plus bas que le niveau actuel, de telle sorte que les fleuves avaient une pente beaucoup plus forte et un pouvoir érosif plus important. La Loire était à sec, la Manche dans laquelle se jetait la Seine, mais aussi le Rhin et l'Elbe, était alors une immense vallée qui reliait la France à la Grande-Bretagne.

Selon Wheeler (1977), quelques espèces d'eau douce constitueraient le fonds faunistique du fleuve Manche et de la Seine : le brochet (*Esox lucius*), la brème commune (*Abramis brama*), la vandoise (*Leuciscus leuciscus*), le chevaine (*Leuciscus cephalus*), le gardon (*Rutilus rutilus*), le goujon (*Gobio gobio*), la perche (*Perca fluviatilis*) et la loche franche (*Nemacheilus barbatulus*). Concernant le bassin de la Seine (Belliard, 1994), on pourrait ajouter à cette liste des espèces secondaires et diadromes, présentes sur l'ensemble des grands bassins de la façade atlantique européenne, telles que la truite fario et la truite de mer (*Salmo trutta*), le chabot (*Cottus gobio*),

la lamproie de Planer (*Lampetra planeri*), le saumon (*Salmo salar*), l'esturgeon (*Acipenser sturio*), la grande alose (*Alosa alosa*), l'alse feinte (*Alosa fallax*), l'anguille (*Anguilla anguilla*), l'épinoche (*Gasterosteus aculeatus*), l'épinochette (*Pungitius pungitius*).

Il est admis que les espèces thermophiles ont trouvé refuge, lors des périodes glaciaires, dans le bassin du Danube. Mais en réalité c'est la mer Noire et les cours inférieurs des fleuves qui s'y jettent qui ont servi de zone refuge. Car, lors du dernier maximum glaciaire, la mer Noire était à 200 m sous son niveau actuel et alors remplie d'eau douce car elle était isolée de la Méditerranée puisque le Bosphore était exondé. Le fait que le Danube ait constitué une zone refuge au Pléistocène a été confirmé par une étude de la richesse en espèces de différentes rivières européennes (Oberdorff *et al.*, 1995). Il existe en effet une relation négative entre la richesse en espèces de poissons des bassins fluviaux et l'éloignement de ces derniers par rapport aux zones refuges.

Comment s'est faite la recolonisation des rivières ?

Comment les espèces aquatiques qui ne supportent pas l'exondation, telles que les poissons, les mollusques, les crustacés, ont-elles fait pour recoloniser l'Europe de l'Ouest à partir du refuge danubien, sachant que les bassins hydrographiques sont le plus souvent des entités isolées les unes des autres, équivalentes à des îles ? Nous n'avons pas de certitudes quant aux processus de recolonisation qui ont permis le transfert d'espèces d'un bassin à un autre. L'hypothèse la plus vraisemblable est que les espèces ont colonisé progressivement, bassin par bassin, à l'occasion d'événements qui ont permis la communication entre bassins adjacents (captures, crues exceptionnelles, etc.). Lors du réchauffement, les espèces ont pu également remonter le cours du Dniepr puis envahir les cours d'eau se jetant dans la Baltique et la Manche (figure 7.3).

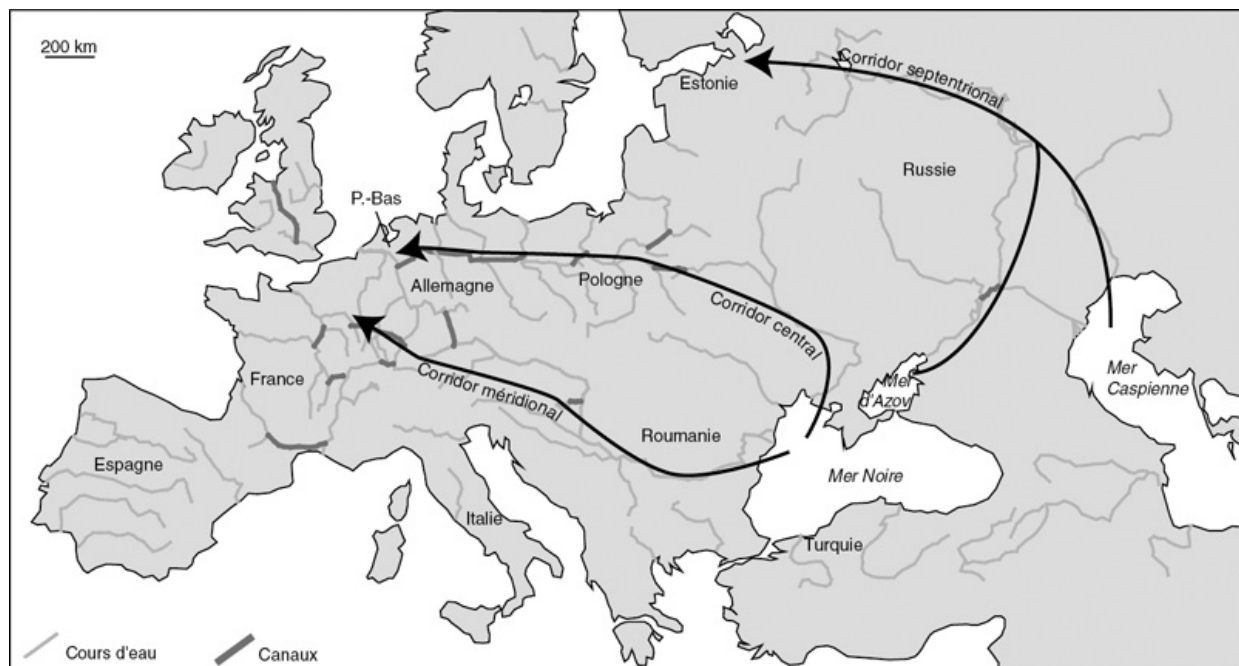


Figure 7.3 Les trois corridors intérieurs de migration des espèces ponto-caspiennes.

Le bassin ponto-caspien est composé de la mer Noire, la mer d'Azov et la mer Caspienne, ainsi que des secteurs aval des fleuves qui s'y jettent (Danube, Dniepr, Don, Volga, par exemple). (d'après Beisel et Lévêque, 2010)

L'histoire de la recolonisation de l'Europe après les glaciations illustre le fait qu'il n'y a pas eu un déplacement massif de communautés entières, mais que chaque espèce a recolonisé en fonction de ses caractéristiques biologiques et des opportunités environnementales. Dans un tel contexte, les peuplements actuels sont donc le produit d'une histoire où la chance et la contingence ont joué un grand rôle. Ils sont donc de nature essentiellement stochastique.

L'influence anthropique

Les cours d'eau européens ont joué un rôle primordial dans le développement économique de nos sociétés (voir chapitre 9). Ils ont donc été aménagés à la fois pour des activités de transport et des raisons économiques (production d'énergie), ainsi que pour assurer

la sécurité des biens et des personnes dans les agglomérations riveraines, ce qui a modifié les habitats (voir chapitre 6). Simultanément, ils ont été exploités pour la pêche professionnelle ou de loisir, et de nombreuses espèces ont été introduites à cet effet.

Les modifications de l'habitat

Les aménagements des cours d'eau (figure 7.4) ont eu pour effet de réduire très fortement les zones inondables en Europe, pénalisant ainsi les espèces qui utilisent ce type de milieu pour leur reproduction, à l'image du brochet. Ils ont aussi réduit l'hétérogénéité physique des rivières, et créé de vastes retenues favorisant les espèces d'eau calme au détriment des espèces d'eau vive (cf. chapitre 11).

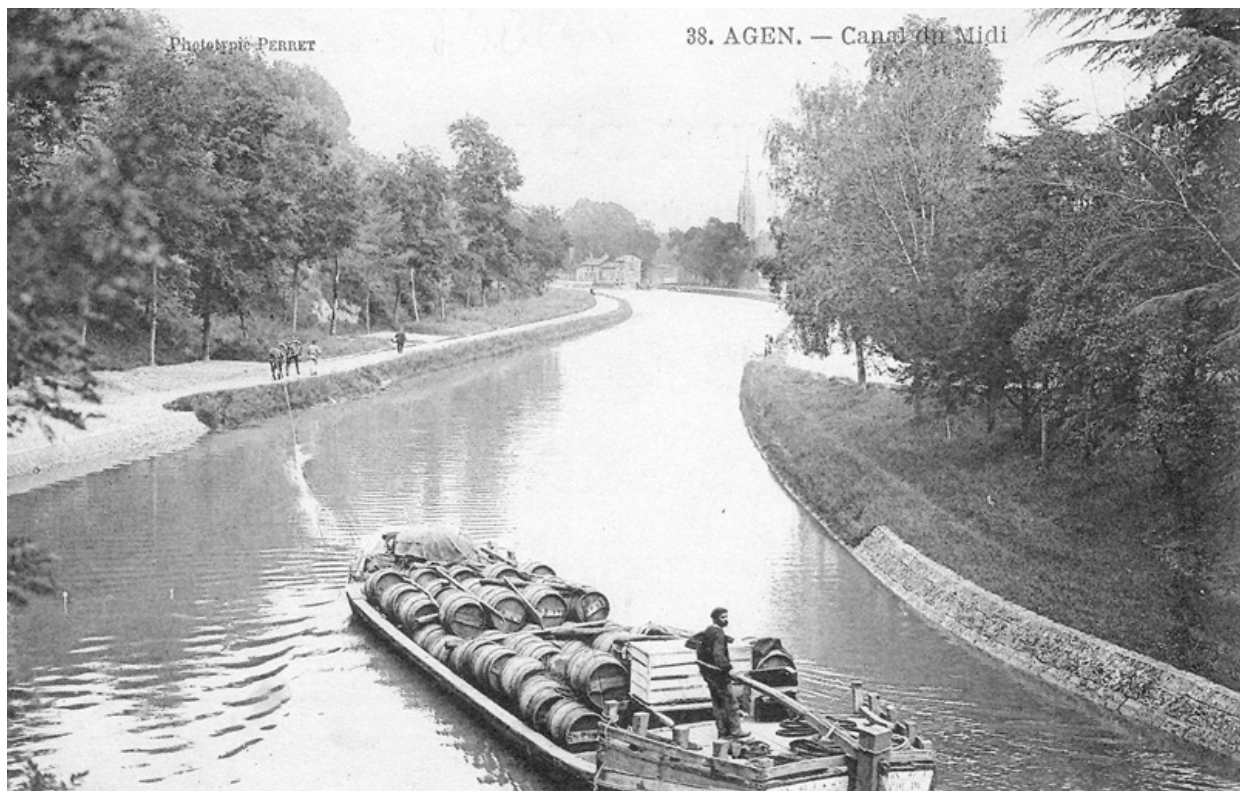


Figure 7.4 Les nombreux canaux qui relient les bassins des grands fleuves français ont joué un rôle important dans les transports.

Pour l'anecdote, selon la légende, le canal du Midi servait autrefois à transformer le vin d'Algérie en vin de Bordeaux... Mais, avec les canaux,

de nombreuses espèces végétales et animales ont également voyagé à travers l'Europe et cette trame bleue est aussi une voie privilégiée d'invasions biologiques.

Le réseau de canaux reliant les différents bassins fluviaux a permis aux espèces de migrer d'un bassin à l'autre (figure 7.5). Ainsi, depuis la mise en service en 1992 du canal reliant le Main (affluent du Rhin) au Danube, des « envahisseurs » d'origine danubienne ou pontocaspienne ont fait leur apparition en Europe de l'Ouest. Ce sont surtout des crustacés et des mollusques. Parmi les poissons, la brème du Danube, le goujon ukrainien, la vimbe (ou brème de la mer Noire), ainsi que des gobies provenant du Rhin ont fait également leur apparition dans les eaux métropolitaines.

En d'autres termes, les réseaux de canaux permettent actuellement la migration d'espèces dans toute l'Europe, ce que l'on peut aussi interpréter comme la poursuite du processus de recolonisation post-glaciaire dont personne ne peut dire qu'il est achevé ! Toutes proportions gardées, on assiste au même phénomène que celui des espèces provenant de l'océan Indien qui pénètrent en Méditerranée *via* le canal de Suez. Avec le risque que certaines espèces se révèlent envahissantes, à l'exemple de la moule zébrée, qui a proliféré dans nos rivières mais dont les populations semblent maintenant stabilisées.

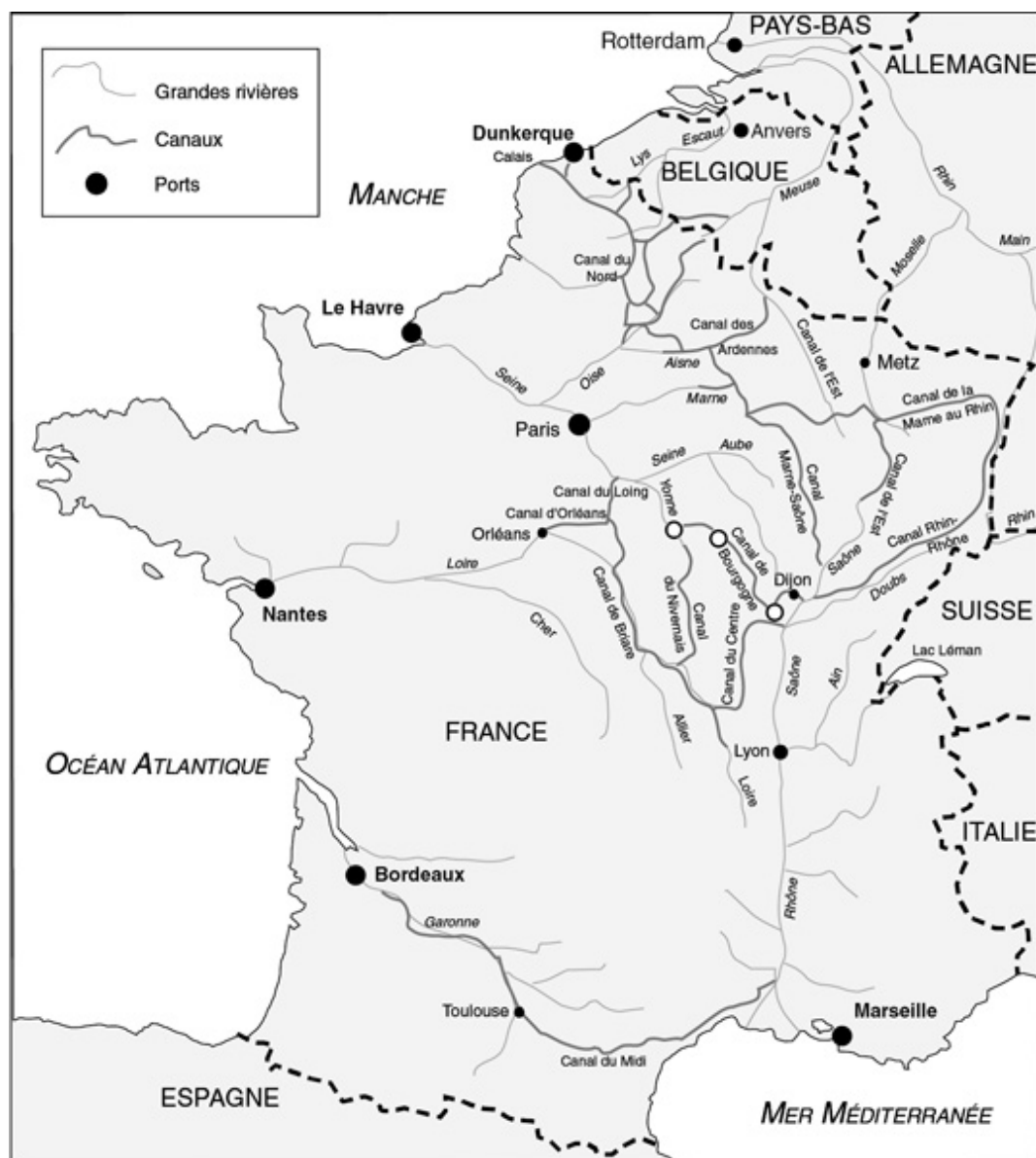


Figure 7.5 Les principaux bassins hydrographiques français et le réseau des canaux de navigation à grand gabarit.

L'ensemble des bassins européens est ainsi interconnecté, notamment depuis l'ouverture d'un canal entre le bassin du Danube et celui du Rhin en 1992 (Beisel et Lévêque, 2010).

Les espèces qui voyagent

Les espèces ne sont pas astreintes à résidence. Elles peuvent étendre naturellement leurs aires de répartition, et il y a de nombreux exemples d'espèces qui colonisent de nouveaux milieux sans l'aide

de l'homme. Mais ce dernier a joué depuis longtemps un rôle actif dans les déplacements d'espèces par des transferts qui peuvent être volontaires (poissons d'aquarium, lutte biologique, aquaculture, etc.). Ils peuvent également se faire de manière inopinée. Les ballasts des bateaux, les containers, les bagages des voyageurs, sont des véhicules privilégiés de ces transferts « involontaires » d'espèces (Beisel et Lévêque, 2010).

En 2005, sur 43 espèces d'invertébrés d'eau douce introduites et recensées en France, les crustacés représentent la moitié, et les mollusques un quart. Malgré leur grand nombre, il y a donc peu d'espèces d'insectes introduites. Quarante-trois espèces de poissons ont été introduites en France métropolitaine (Keith *et al.*, 2011). Environ les deux tiers y sont toujours présentes et constituent une part importante (plus d'un tiers) de l'ichtyofaune métropolitaine. Wheeler (1977) rappelait que la composition actuelle des peuplements ichtyologiques des îles britanniques devait beaucoup aux hommes. Si la faune de poissons d'eau douce d'Irlande compte actuellement 20 espèces, elle ne comptait que 8 espèces anadromes (qui vivent en mer mais remontent le cours des rivières pour pondre) après les glaciations. Au moins 7 espèces ont été introduites volontairement depuis quatre cents ans.

Les poissons d'élevage sont une source importante de transferts d'espèces dans le monde. En Europe, la carpe est l'une des premières espèces dont l'introduction est en partie documentée. Originaires du bassin du Danube où elle était élevée à l'époque romaine, elle a été disséminée à travers l'Europe pour développer les piscicultures. En France, c'est au Moyen Âge qu'elle a été introduite et élevée en masse par les communautés religieuses pour répondre aux besoins alimentaires en période de Carême. Pour ce faire, les carpes étaient transportées vivantes d'un point à un autre. Avec elles, d'autres espèces comme la tanche, mais aussi le gardon, le rotengle, les brèmes, la perche, voire le brochet, espèces adaptées à la vie en étang, ont été largement échangées et disséminées à travers l'Europe.

Après la carpe, ce fut au tour du carassin doré (le poisson rouge), issu de la pisciculture chinoise du Moyen Âge, d'être introduit au XVIII^e siècle à des fins de loisirs et de pêche. Puis, au XIX^e siècle, arrivent les espèces originaires d'Amérique du Nord : perche soleil, crapet de roche, poisson-chat, crétin (omble du Canada), truite arc-en-ciel, omble fontaine, etc. Certaines espèces étaient des curiosités scientifiques, d'autres destinées à assouvir la passion des pêcheurs sportifs.

Plus récemment, l'esturgeon de Sibérie a été introduit dans diverses piscicultures, mais des lâchers volontaires ou accidentels ont été réalisés en eau libre. Ainsi, dans la Gironde, où subsiste une population résiduelle de l'espèce autochtone, *Acipenser sturio*, plusieurs milliers de spécimens d'*A. baeri*, l'esturgeon de Sibérie, se sont évadés en 1999 de leur bassin d'élevage à l'occasion d'une crue exceptionnelle du fleuve. Difficile de savoir encore s'ils se sont naturalisés...

De nos jours, de nombreuses espèces continuent à se disperser en profitant des moyens de transport mis à leur disposition par l'homme. L'effectif transporté chaque jour par nos moyens de communication (avions, bateaux, véhicules, etc.) s'évalue en milliards d'individus. Tous ne vont évidemment pas se naturaliser...

Vie introduite dans les ports normands

L'estuaire de la Seine, avec ses deux grands ports maritimes (Le Havre et Rouen), est l'une des escales les plus importantes du trafic maritime en Europe. Le ballast des navires est une source importante d'espèces exotiques, dont certaines vont pouvoir trouver en Normandie les conditions nécessaires à leur développement (sédiment, température, salinité, hydrodynamisme, sources de nourriture...), d'autant que les bassins portuaires et leurs alentours leur offrent une grande diversité d'habitats. Cependant, beaucoup d'espèces introduites ne survivent pas. D'autres peuvent subsister localement et/ou de manière épisodique. D'autres enfin peuvent se naturaliser et se reproduire, et constituer des populations viables. Quelques-unes de ces espèces peuvent avoir des effets jugés indésirables pour l'homme, mais d'autres viennent enrichir la flore et la faune locales en s'intégrant dans l'écosystème.

Un travail d'inventaire réalisé sur l'estuaire de la Seine (Ruellet et Breton, 2012) a identifié 63 espèces introduites dans les bassins portuaires, contre 456 espèces autochtones (hors mammifères, bactéries, insectes). Les algues (13 espèces), les crustacés (13 espèces), les ascidies (9 espèces) et les mollusques (8 espèces) viennent en tête des espèces introduites. La moitié des 63 espèces provient d'Asie du Sud-Est,

un quart d'Amérique du Nord, et un dixième d'Europe centrale et de l'Est. Cette répartition géographique des origines semble refléter les activités commerciales, puisque les principaux échanges de l'Europe se font avec l'Asie du Sud-Est et avec l'Amérique du Nord.

Certains lieux sont particulièrement riches en espèces introduites. Ainsi elles représentent 32 % de la faune dans le bassin Saint-Gervais et le bassin au Bois du port de Rouen, et entre 11 et 26 % dans divers bassins du port du Havre. Mais beaucoup de ces espèces ne semblent pas se disperser dans d'autres milieux.

Les introductions d'espèces et leurs conséquences sont à l'origine de nombreuses polémiques (Beisel et Lévêque, 2010).

On utilise très souvent vis-à-vis des espèces introduites un langage xénophobe : elles viennent prendre la place des espèces autochtones, sont prolifiques, créent des nuisances, etc. Il faut donc les éradiquer ! Si la stigmatisation des espèces invasives et le discours sécuritaire et alarmiste sur l'avenir de la planète relèvent du discours médiatique, il n'est pas partagé par tous. Dans la réalité, nombre d'espèces introduites (la carpe, le sandre, etc.) ont été bien acceptées et ont même acquis le statut d'espèces patrimoniales. Les citoyens sont par ailleurs demandeurs d'introduction d'espèces nouvelles pour leur plaisir ou pour des raisons économiques. Quant aux écologistes, ils restent divisés sur cette question que l'on ne peut traiter qu'au cas par cas.

Les espèces introduites seraient responsables de la disparition des espèces autochtones. Cette affirmation basée sur la notion de compétition interspécifique est loin d'être vérifiée. S'il y a parfois concomitance entre l'apparition d'espèces invasives et la disparition d'espèces autochtones, une relation de cause à effet n'est pas souvent démontrée et une interprétation différente (mais non exclusive) est proposée : les espèces invasives viennent prendre la place laissée libre par les espèces autochtones qui ne trouvent plus les conditions qui leur conviennent dans un environnement qui se modifie. Dans ce jeu de chaises musicales, les espèces invasives profitent de manière opportuniste des nouvelles conditions offertes par les aménagements des cours d'eau pour s'installer dans les

nouvelles niches ainsi créées ou celles laissées vacantes par les espèces autochtones.

Les espèces invasives n'ont pas de traits biologiques particuliers qui les rendent plus compétitives par rapport aux espèces natives. On ne peut donc, dans la plupart des cas, tirer un portrait-robot des espèces invasives qui soit différent des espèces natives.

La stigmatisation des introductions d'espèces renvoie à une conception fixiste du monde. Ces introductions viennent perturber l'ordre établi : en bref, cela fait désordre de voir s'installer chez nous des espèces venues d'autres continents...

Liarsou (2012) a montré que le rapprochement d'une espèce allochtone avec la notion de « nuisible » était étroitement lié à la capacité d'intégration économique et symbolique de l'espèce considérée.

Il n'est pas question de cautionner l'idée que l'on peut faire n'importe quoi en matière d'introduction d'espèces. Nous avons notamment de nombreux exemples de maladies parasitaires introduites avec des espèces exotiques dont les conséquences sont lourdes à assumer, chez les écrevisses en particulier. Et le bon sens voudrait qu'on n'introduise pas d'espèces réputées prolifiques ou prédatrices dans des milieux riches en espèces endémiques. Mais, peut-on se priver pour autant d'introduire des espèces qui peuvent être utiles à la société ? Et avons-nous réellement les moyens de nous prémunir des introductions accidentelles dans le contexte d'un commerce international qui va croissant ? Beaucoup de nos législations dans ce contexte sont inopérantes. Sans oublier les comportements de citoyens qui ne s'embarrassent pas de formalités pour introduire les espèces qui les intéressent.

En Europe, où de nombreuses communautés biologiques sont de simples assemblages d'espèces qui se sont constituées au hasard de l'histoire, il y a place sans aucun doute pour un regard plus « amical » sur le rôle des espèces introduites dans les écosystèmes.

Richesse en espèces et fonctionnement des hydrosystèmes

On lit souvent que la richesse en espèces des communautés est un facteur de stabilité et participe à un meilleur fonctionnement des écosystèmes. Un certain nombre d'hypothèses ont été proposées concernant les relations entre la richesse en espèces d'un système et le fonctionnement du système.

En 1955, l'écologiste américain MacArthur, travaillant sur la théorie de l'information, a émis l'hypothèse que la diversité des flux au sein de l'écosystème contribue à faciliter sa capacité à maintenir un équilibre fonctionnel face aux perturbations. Les flux étant difficiles à évaluer, on s'est rabattu sur la diversité des espèces, détournant ainsi l'idée originale de MacArthur pour élaborer l'hypothèse appelée « diversité-stabilité », selon laquelle l'aptitude des écosystèmes à réagir aux perturbations ainsi que leur productivité s'accroît lorsque la richesse en espèces augmente. Une hypothèse qui n'a jamais été démontrée mais qui reste vivace (Lévêque, 2013). Des travaux argumentés montrent par exemple qu'il n'y a aucune relation dans un sens ou dans un autre entre la richesse en espèces et la production biologique d'un système aquatique (Statzner et Lévêque, 2007). Des zones humides dominées par des populations de roseaux ou de papyrus peuvent être extrêmement productives. Mais l'idée selon laquelle plus il y a d'espèces, mieux c'est, est entretenue par les milieux conservationnistes, qui trouvent là un argument à la protection intégrale des milieux.

D'autres hypothèses ont été émises : l'hypothèse des rivets, qui part du principe que plusieurs espèces remplissent la même fonction dans un écosystème et que la perte d'une espèce ne signifie pas nécessairement que la fonction qu'elle remplit disparaît également. Et l'hypothèse conducteurs-passagers, qui considère quant à elle que toutes les espèces ne jouent pas un rôle équivalent dans l'écosystème. Certaines espèces sont superflues (passagers) alors que d'autres jouent un rôle essentiel dans l'écosystème (conducteurs). Ces deux dernières hypothèses reconnaissent

implicitement que toutes les espèces ne sont pas nécessaires au fonctionnement des systèmes écologiques. Mais toutes ces hypothèses restent assez vagues sur ce que l'on entend concrètement par fonctionnement des écosystèmes. Les quelques tentatives d'explication portent surtout sur la constitution des chaînes trophiques, ce qui ne relève pas du fonctionnement mais de la structure. De fait, le terme « fonctionnement des écosystèmes » reste assez théorique et mal défini en écologie, si on se réfère aux flux de matière et d'énergie. Difficile, dans ces conditions, d'argumenter sérieusement sur le rôle respectif des espèces, si ce n'est en termes spéculatifs.

Pour en savoir plus

Balian E.V., Segers H., Lévêque C., Martens K., 2008. The freshwater animal diversity assessment : an overview of the results. *Hydrobiologia*, 595: 627-637.

Beisel L.N., Lévêque C., 2010. Les introductions d'espèces dans les milieux aquatiques. Faut-il avoir peur des invasions biologiques ? Éditions Quæ, 232 p.

Belliard J., 1994. Le peuplement ichtyologique du bassin de la Seine : rôle et signification des échelles temporelles et spatiales. Thèse de doctorat, université Paris-VI, 197 p.

Cornell H.V., Lawton, J.H., 1992. Species interactions, local and regional processes, and limits to the richness of ecological communities: a theoretical perspective. *J. Anim. Ecol.* 61: 1-12.

Dufour S., Piegay H., 2009. From the myth of lost paradise to targeted river restoration : forget natural references and focus on human benefits. *River and Research Applications*, 25(5): 568-581.

Hubbell S.P., 2001. The Unified Neutral Theory of Biodiversity and Biogeography. Princeton University Press.

Keith P., Persat H., E. Feunteu, Allardi J. (coord.), 2011. *Les Poissons d'eau douce de France*. Co-édition Biotope, Mèze-Publications scientifiques du Muséum national d'histoire naturelle, Paris, 552 p.

Le Gall O., 2010. Influences des glaciaires/interglaciaires sur les ichtyofaunes des eaux douces européennes. *Quaternaire*, vol. 21/3, p. 203-214.

Lévêque C., 2008. *Faut-il avoir peur des introductions d'espèces ?* Le Pommier, coll. Les Petites Pommes du savoir.

Lévêque C., 2008. La biodiversité au quotidien. Le développement durable à l'épreuve des faits. Éditions Quæ.

Lévêque C., 2013. L'écologie est-elle encore scientifique ? Éditions Quæ.

Lévêque C., Mounolou J.C., Pavé A. et Schmidt-Lainé C., 2010. À propos des introductions d'espèces. *Études rurales*, 185 : 219-234.

Lévêque C., Tabacchi E., Menozzi M.J., 2012. Les espèces exotiques envahissantes : pour une remise en cause des paradigmes écologiques. *Sciences Eaux Territoires*, 2012, 6 : 2-9.

Liarsou A., 2012. Contribution de l'archéologie à la réflexion sur le partage entre nature et culture et mise en perspective historique des stratégies de gestion de la « biodiversité ». Thèse de doctorat, université Paris-I.

Liarsou A., 2013. *Biodiversité : entre nature et culture*. Éditions Sang de la terre, 160 p.

MacArthur R.H., Wilson E.O., 1967. *The Theory of Island Biogeography*. Princeton University Press.

Mathieu N. et Jollivet M. (dir.), 1989. Du rural à l'environnement. La question de la nature aujourd'hui. L'Harmattan.

Micoud A., 2005. La biodiversité est-elle encore naturelle ?. *Écologie et politique*, 30 : 17-25.

Oberdorff T., Guégan J.-F., Hugueny B., 1995. Global scale patterns of fish species richness in rivers. *Ecography*, 18, 345-352.

Ruellet T., Breton G, 2012. Vie introduite dans les ports. Rapport Seine Aval 4. GIP Seine-Aval (sur le web).

Sax D.F., Stachowicz J.J., Gaines S.D. (eds), 2005. *Species Invasions: Insights into Ecology, Evolution and Biogeography*. Sinauer, Sunderland, États-Unis.

Sagoff M., 2005. Do non-native species threaten the natural environment ? *Journal of Agricultural and Environmental Ethics*, 18(3), 215-236.

Sagoff M., 1999. What's wrong with exotic species ? *Rep. Inst. Philos. Public Policy*, 19, 16-23.

Slobodkin L.B., 2001. The good, the bad and the reified. *Evolutionary Ecology Research*, 3(1), 1-13.

Statzner B., Lévêque C., 2007. Linking productivity, biodiversity and habitat of benthic stream macroinvertebrate communities: potential complications of worldwide and regional patterns. *Intern. Rev. Hydrobiol.*, 92(4-5): 428-451.

Theodoropoulos D., 2003. *Invasion Biology: Critique of a Pseudoscience*. Avvar Books, Blythe, Californie, 256 p.

Tonn W.M., 1990. Climate change and fish communities: a conceptual framework. *Transactions of the American Fisheries Society*, 119: 337-352.

Wheeler A., 1977. The origin and distribution of the freshwater fishes of the British Isles. *Journal of Biogeography*, 4, 1-24.

11À ce propos, on peut s'inquiéter de la prévalence des idées créationnistes.

Le « bon état »... dans tous ses états

« L'idée de "bon état", comme celle d'"intégrité biotique" s'inscrit dans une vision philosophique de la nature considérée comme immuable, ou pour le moins en équilibre, et soumise aux agressions de l'homme. Il en découle tout un appareillage de mesures de protection et de sanctuarisation de la nature afin de la préserver. C'est dans ce contexte moral et esthétisant de la nature qu'a émergé l'idée de bon état écologique, ainsi que ses grilles de lecture (inventaires de biodiversité, espèces à protéger, espaces sanctuaires). »

GIP Seine-Aval, projet Beest (2011)

NB : Beaucoup des idées développées ici ont été débattues dans le cadre du programme multidisciplinaire « Vers une approche multicritère du bon état écologique des grands estuaires », soutenu par le programme Liteau du ministère de l'Environnement, le GIP Seine-Aval et l'Onema.

L'expression « bon état écologique » a été popularisée par la Directive cadre sur l'eau (DCE). Elle y joue un rôle central et a été érigée en principe normatif pour conduire des opérations de protection et de restauration des systèmes aquatiques continentaux. Cependant, beaucoup s'interrogent sur la signification de ce concept, certes très imagé, mais dont la pertinence scientifique est contestée.

Tout un chacun croit savoir ce qu'est une voiture en bon état : elle fonctionne bien, elle ne nous lâche pas quand on en a besoin et elle a belle allure. *A contrario*, un véhicule en mauvais état est un véhicule dont on suspecte que la panne peut survenir inopinément et dont la carrosserie laisse à désirer... Pour le contrôle technique, bien évidemment, il faut faire appel au technicien qui vous dit si, sur

la base de critères techniques, le véhicule peut ou non circuler. Mais pour une rivière, qu'est-ce que le bon état ? Certains pensent que, comme pour la voiture, le bon état peut se définir en fonction de l'usage, ou plus exactement des services que la rivière nous fournit : production d'eau potable, autoépuration, pêche, lieu de baignade, etc. D'autres, comme les peintres, les poètes et les citoyens en quête de loisirs, sont plus attirés par la carrosserie, c'est-à-dire par l'aspect plus ou moins esthétique de la rivière. Quant aux scientifiques, ils vont essayer de rationaliser la question en portant un diagnostic sur la structure et le fonctionnement de l'hydrosystème dans le cadre d'un débat, parfois ésotérique pour le citoyen, autour de la biodiversité érigée en norme.

Le bon état des eaux selon la DCE : une approche normative

L'état écologique est défini comme « l'expression de la qualité de la structure et du fonctionnement des écosystèmes aquatiques associés aux eaux de surface » (circulaire DCE 2005/12 n° 14 du 28 juillet 2005 relative à la définition du « bon état » et à la constitution des référentiels pour les eaux douces de surface ainsi qu'à la démarche à adopter pendant la phase transitoire 2005-2007). Le bon état, selon la DCE, peut se décliner en état physique, état chimique et état biologique.

L'état chimique

Pour l'état chimique, la question est relativement simple, du moins sur le plan réglementaire : il s'agira de vérifier que les normes de qualité environnementales (NQE^[12]) fixées par les directives européennes sont respectées. Autrement dit, que les concentrations des différentes substances toxiques ne dépassent pas des valeurs-seuils au-delà desquelles il y aurait un risque pour l'environnement aquatique et éventuellement pour la santé.

L'état physique

L'état physique d'un cours d'eau concerne les habitats pour la faune et la flore, ainsi que les débits et les transports sédimentaires. Pour faire bref, restaurer c'est retrouver un régime hydrologique plus proche de celui qui existait auparavant (hydrodynamique), et recréer de l'hétérogénéité spatiale et temporelle (hydromorphologie). Si l'idée est bonne, on voit néanmoins rapidement les limites des actions possibles : pas question de permettre aux fleuves de divaguer de nouveau ; pas question de risquer des inondations !

L'état écologique

Dans l'état actuel des techniques, les analyses physico-chimiques de l'eau renseignent sur la qualité de l'eau au moment où l'on réalise les mesures. Mais, en dehors des périodes de prélèvement, très souvent éloignées dans le temps, il peut y avoir des épisodes brefs et plus ou moins intenses de pollutions qui peuvent affecter l'édifice biologique sans avoir été enregistrés. En outre, le milieu biologique peut être également modifié par des aménagements du milieu physique. C'est pourquoi on a proposé d'utiliser des critères qui prennent mieux en compte la réalité du terrain, tels que la diversité ou l'abondance des espèces aquatiques, pour réaliser des diagnostics sur l'état du milieu biologique. Différents niveaux d'états écologiques seront ainsi définis, en utilisant plusieurs types d'organismes tels que les poissons, les végétaux, les diatomées ou les invertébrés aquatiques.

Une variante reconnue par la DCE est le « bon potentiel écologique », s'appliquant plus spécifiquement aux masses d'eau artificielles (MEA) et aux masses d'eau fortement modifiées (MEFM) qui ont subi des modifications physiques souvent irréversibles pour satisfaire certains usages (hydroélectricité, protection contre les inondations, etc.) reconnus comme prioritaires dans l'intérêt général. Dans ces conditions, on admet des arrangements avec « l'idéal écologique »... ce qui ne dédouane pas pour autant les gestionnaires de chercher à minimiser les incidences écologiques des usages.

Selon les critères définis par la DCE, l'état des eaux de surface en France en 2009 se répartissait ainsi : 7 % en très bon état écologique ; 38 % en bon état ; 38 % en état moyen ; 11 % en état médiocre ; 4 % en mauvais état. La proportion de masses d'eau en très bon état et en bon état est de 48 % pour les cours d'eau, 16 % pour les plans d'eau, 29 % pour les eaux de transition^[13], 56 % pour les eaux côtières. Pour l'état chimique des eaux de surface, 45 % des masses d'eau sont en bon état, 21 % ne le sont pas et 34 % sont indéterminées. Coût estimé des opérations de préservation et de restauration pour la période 2009-2015 : 27 milliards d'euros (source : site Eaufrance au 22 03 2010).

Les principaux objectifs environnementaux de la Directive cadre européenne sur l'eau sont les suivants :

- ne pas détériorer l'existant ;
- atteindre le bon état (écologique et chimique) en 2027 et, pour les masses d'eau artificielles ou fortement modifiées, le bon état chimique et le bon potentiel écologique ;
- supprimer les rejets de substances dangereuses prioritaires et réduire ceux des substances prioritaires (une liste a été identifiée) ;
- assurer la continuité écologique sur les cours d'eau.

Le bon état écologique existe-t-il ?

La notion de bon état écologique n'est pas nouvelle, même si l'expression elle-même est récente. On peut la rattacher, sur le plan des idées, au fameux concept d'équilibre de la nature, ainsi qu'aux concepts plus ou moins similaires d'intégrité ou de santé des écosystèmes qui ont été développés en Amérique du Nord il y a quelques décennies.

Exégèse du bon état écologique

« Bon » : Ce terme est clairement normatif. S'il est normatif, il est socialement construit. Il n'y a pas de scientifiquement bon ou de scientifiquement mauvais. Mais si c'est socialement construit, il faut s'intéresser à la manière dont cela est socialement

construit. Si nous considérons qu'il faut aller vers du bon, il faut créer les conditions de socialement construire ce bon et cela renvoie à la question de la gouvernance. »

« État » : Derrière "état" se cache énormément de cognitif. Ce qui est extraordinaire dans la DCE, c'est son développement cognitif. C'est une des directives les plus développées dans ses annexes autour de la définition des masses d'eau, des indicateurs, des systèmes de référence, etc. Derrière ce cognitif se cache aussi du normatif. C'est celui de la "pristine nature", c'est-à-dire que le bon est défini comme de faibles distorsions des indicateurs des masses d'eau, biologiques, physiques, chimiques, par rapport à des systèmes de référence non anthropisés. Cherchez le non-anthropisé avec le changement climatique global aujourd'hui... ! Mais c'est cette vision qui fonde la manière de penser, la façon dont a été défini "bon état écologique" dans la DCE. Ce dont il faut se rendre compte, c'est que cette conception détermine considérablement les manières de décider, d'agir et de construire de la connaissance. »

« Écologique : Ce qui est extraordinaire c'est que, si l'on change ce mot en socio-économico-écologique, cela devient encore beaucoup plus complexe et compliqué. Or c'est l'enjeu. Ce que vous trouverez dans la directive, c'est énormément de cognitif et de normatif sur l'écologie, rien sur les activités, si ce n'est des mécanismes économiques de compensation, de dérogation, de calcul pour arriver à un bon état écologique, mais nous ne disons rien sur les activités humaines, nous ne disons rien sur leurs relations au fonctionnement écologique des écosystèmes. J'ai envie de dire que les indicateurs ne disent rien sur la manière dont des fonctionnements écologiques sont influencés par des activités agricoles, des activités de chasse et de pêche et ainsi de suite. Pourquoi ? Parce que c'est extrêmement difficile. »
(Intervention de P. Steyaert, colloque de Nantes du programme Liteau-Beest, le 2 décembre 2009)

L'évaluation du bon état suppose implicitement que les écologues puissent se référer à un état « standard » censé constituer la référence, pour mesurer l'écart entre ce dernier et l'écosystème considéré. Ce mythe de la référence fait débat. Pour les experts scientifiques, la quête d'une référence écologique passée permettant de comparer l'état présent et à venir est une utopie. Poser comme référence une nature vierge, non impactée par l'homme, n'a pas de sens dans un environnement avec lequel l'homme interagit depuis des millénaires (voir chapitre 7). C'est d'autre part une erreur de s'appuyer sur un repère fixe et normatif quand on sait que la nature est en perpétuelle évolution.

Pour pallier la difficulté de définir une « référence » historique, la DCE s'appuie sur un réseau de sites supposés peu perturbés par les activités humaines, à partir desquels on tire des métriques qui sont

ensuite érigées en normes applicables pour tous les cours d'eau de même type. C'est donc une sorte de cote mal taillée entre l'inaccessible état pristine et un état plus ou moins anthropisé, ce qui laisse, disons-le, une certaine « marge de manœuvre » dans le choix de la référence... Outre le fait que cette normalisation soit discutable, il est parfois difficile de trouver des sites peu perturbés, à l'exemple des grands estuaires européens, tous aménagés. Sans compter que les indices biotiques utilisés ne prennent pas en compte les espèces qui se naturalisent dans les systèmes écologiques. Or les introductions d'espèces dues à l'homme ou au climat se multiplient.

Pourtant, les spécialistes de sciences sociales considèrent que la référence reste un principe fort de réalité. De fait, nous idéalisons spontanément la nature et nous la percevons aussi à travers notre mémoire individuelle et collective, à travers nos souvenirs d'enfance et nos milieux de vie. L'écho médiatique donné aux slogans écologistes défendant « la Loire, dernier fleuve sauvage d'Europe » montre qu'il existe bien, dans la population, une certaine nostalgie de cet état antérieur, d'un fleuve non domestiqué et non contraint.

Intégrité des écosystèmes

Le terme intégrité fait généralement référence à quelque chose en bon état, qui est intact et complet. Le concept d'intégrité écologique a été énoncé par Aldo Leopold (1949), sur une base éthique : « a thing is right when it tends to preserve integrity, stability and beauty of the biotic community. It is wrong when it tends otherwise ». Avec une définition aussi générale, nous sommes dans l'émotionnel plutôt que dans le domaine scientifique. On frise aussi une vision paradisiaque de la nature...

Pour affirmer leur volonté de lutter contre les pollutions, les États-Unis ont publié en 1972, le Clean Water Act, dont un objectif était : « restaurer et maintenir l'intégrité chimique, physique et biologique des eaux de la Nation ». Pour sa mise en application, les gestionnaires furent confrontés (déjà !) à la difficulté de définir plus

précisément la notion d'intégrité écologique que ne l'avait fait Aldo Leopold. Après plusieurs tentatives, la définition de Karr et Dudley (1981) a été retenue : « the capability of supporting and maintaining a balanced, integrated, adaptive, community of organisms having species composition, diversity, and functional organisation comparable to that of natural habitats of the region ». À cet effet, les auteurs recommandent également de ne pas se restreindre au seul aspect « pollution » et de prendre en compte quatre grands paramètres influençant la structure et le fonctionnement des écosystèmes :

- le régime hydrologique (variabilité annuelle et interannuelle) ;
- la qualité de l'eau ;
- la structure de l'habitat physique (cf. le concept d'« habitat temple » , chapitre 6) ;
- les sources d'énergie dans l'écosystème et leur nature.

De manière simplifiée, on peut donc dire que maintenir l'intégrité des écosystèmes, c'est maintenir les habitats et les processus écologiques qui sont essentiels pour que les écosystèmes fonctionnent de manière prévisible. Le problème majeur, ici aussi, est de préciser ce que l'on met derrière ces mots. Comme le souligne Regier (1993), « Dans les systèmes modifiés par l'homme, la question de l'intégrité est bien celle-ci : quel type de “jardin” voulons-nous ? Quel genre de “jardin” pouvons-nous obtenir ? Il est difficile de prévoir ce que seront les écosystèmes futurs, mais on peut avoir une idée de ceux que l'on souhaiterait avoir... On devrait être capables de “cultiver” le genre d'écosystème que nous voulons, à condition de rester suffisamment flexibles pour s'adapter aux surprises éventuelles inhérentes à la dynamique de systèmes dont les dimensions sont bien au-delà de l'échelle humaine. »

Santé des écosystèmes

L'extension de la notion de « santé » aux écosystèmes part du principe que les activités humaines entraînent des « dysfonctionnements » dans les écosystèmes fortement anthropisés (Rapport *et al.*, 1998). Par cette démarche de nature

clinique, il faut donc rechercher les remèdes qui permettront de retrouver une bonne santé... De même que le médecin doit maintenir un individu en bonne santé, le gestionnaire doit maintenir un écosystème en bon état de fonctionnement. De même qu'un corps en bonne santé est vigoureux et dépourvu de parasites, un écosystème en bonne santé doit pouvoir se caractériser par un ensemble de paramètres considérés comme « normaux » et par des attributs qui soient stables et durables. On a pu ainsi utiliser des expressions telles que « prendre le pouls de la nature » ou « écologie clinique » (Rapport, 1995), très évocatrices.

L'idée qu'il existerait un écosystème idéal qui fonctionnerait bien, lequel est impacté par les activités humaines, est contestée. Certains auteurs estiment en effet que la notion de santé des rivières dépend beaucoup de la perception sociale et des aménités fournies par ces écosystèmes (Calow, 1992). Ainsi, Boulton (1999) propose que « santé des rivières » ne se limite pas aux seuls aspects écologiques, mais couvre également les aspects sociétaux, dans la mesure où l'évaluation de la santé doit prendre en compte les usages et les aménités fournies par ces systèmes. Il décline ainsi les notions de biens et de services qui seront plus tard mises en avant par le Millenium Ecosystem Assessment. Mais l'expression a, de toute évidence, un effet d'appel auprès des gestionnaires. À ce titre, il joue bien son rôle. Le défi est dans l'application de la métaphore pour élaborer les politiques de gestion.

On constate qu'il y a une grande part de subjectivité dans toutes ces définitions. Que ce soit santé ou intégrité, ces notions sont porteuses de connotations fortes : il y a des états des écosystèmes qui sont considérés comme « normaux » et d'autres comme « anormaux ». Nous sommes dans une démarche normative qui a du mal, néanmoins, à s'appuyer sur une argumentation précise, et qui cadre mal avec les notions de variabilité et d'hétérogénéité telles qu'elles se sont développées en écologie au cours des dernières décennies. La notion de bon état est notamment en décalage avec l'idée que les systèmes écologiques s'inscrivent sur des trajectoires spatiales et temporelles (chapitre 8).

Qu'en pense le citoyen ?

La manière dont un citoyen va appréhender son cours d'eau renvoie aux rapports homme/nature, un grand classique des sciences sociales. La notion de « bon état écologique » peut être abordée à travers trois grandes thématiques :

- les croyances : ce sont les religions, superstitions, tabous, contes et légendes, la cosmogonie, les spécificités locales ;
- la mémoire : transmissions, connaissances, savoir-être et savoir-faire ;
- le paysage : constructions, représentations, préservations.

Au sein de la série d'enquêtes réalisées dans l'estuaire de la Seine, il est apparu que plusieurs types d'indicateurs permettent aux citoyens de qualifier l'état écologique de leurs estuaires. Ces indicateurs dépendent avant tout de l'expérience et de la relation que l'individu entretient avec le milieu estuarien qui peut être, par exemple, une position administrative ou institutionnelle, une activité de prélèvement (pêche, chasse), un regard savant ou passionné, une emprise ordinaire liée au lieu de travail ou de résidence.

Pour l'essentiel des habitants et usagers, la qualité de l'environnement estuarien se manifeste par des indicateurs visuels où se mélangent bestiaires (espèces communes ou emblématiques), herbiers, alertes à la pollution, activités sociales et ludiques, rapport esthétique au milieu. Il convient surtout de retenir que l'état écologique lié à l'eau en milieu estuarien est perçu majoritairement (deux cas sur trois) à travers des éléments de pollution. Ce phénomène est intrinsèquement lié à l'histoire de l'aménagement des estuaires français, ainsi qu'aux événements qui ont été fortement médiatisés à travers des incidents de marée noire, des interdictions de pêche et de baignade, ou l'installation d'une industrie à risque. Des épisodes de fortes pollutions (mousses, poissons morts, marées noires) continuent de hanter la mémoire collective à partir de laquelle se construisent les indicateurs sociaux. Pour les usagers, ces épisodes passés ne sont pas seulement référencés dans une échelle de temps, mais représentent avant tout des

catastrophes pouvant s'abattre sur eux du jour au lendemain (Sirost *et al.*, 2007).

Analyse de la presse française concernant les estuaires atlantiques

Une analyse de contenu de la presse nationale (*Le Monde*) et régionale (*Sud-Ouest*, *Ouest-France*, *Paris-Normandie*, *Le Marin*) a été réalisée sur la période de 1990 à 2009, pour les grands estuaires français.

De manière générale, la Seine est présentée comme l'estuaire le plus pollué d'Europe, alors que la Loire est considérée au contraire comme l'espace le plus naturel et le mieux préservé. Les indicateurs biologiques les plus cités pour parler de bon état ou de mauvais état des eaux sont les animaux : poissons essentiellement, puis oiseaux et mollusques. Pour les poissons, ce sont surtout l'anguille, le saumon et l'esturgeon qui sont mis en avant. La référence aux mollusques tient aux interdictions de leur consommation. Les végétaux ne sont pas souvent cités en tant que tels, mais des milieux emblématiques tels que les roselières ou les zones humides sont considérés comme des indicateurs de bon état écologique.

Les polluants les plus fréquemment cités sont les hydrocarbures, les nitrates, les pesticides, le cadmium et les substances pharmaceutiques. La presse privilégie largement les indicateurs de « mauvais état » et véhicule une vision plutôt pessimiste : 112 indicateurs de mauvais état sont cités par les médias contre seulement 16 indicateurs de bon état !

Chaque estuaire présente une spécificité dans l'affichage d'espèces emblématiques à sauvegarder, par exemple : anguille des estuaires, civelle, avocette, tadorne sur la Loire ; esturgeon, civelles, et huîtres sur la Gironde ; saumon, hareng, butor étoilé, râle des genêts sur la Seine.

Le discours des médias qui met plus l'accent sur les dangers que sur ce qui va mieux est similaire à celui que tiennent les usagers sur le terrain. On note en particulier que les risques encourus par les riverains (cancers, problèmes de fertilité, malformations) sont plus fréquents au cours des dernières années. La question est de savoir qui influence l'autre... (Sayeux et Sirost, 2010)

Pour les usagers des estuaires, la notion de bon état est souvent mal comprise, d'autant qu'elle fait appel à un état de référence qui n'est pas explicite ni défini. Les usagers sont sensibles au fait de ne pas détruire le système économique, même si la qualité écologique des estuaires est affectée. Le message est clair : les estuaires sont des lieux où vivent des hommes dont la priorité est l'emploi. Les appréciations de la qualité écologique – et surtout le désintérêt

affiché face à cette question – s'expliquent en partie par ce fatalisme.

Sur la base des enquêtes, il apparaît que quatre groupes sociaux ont des visions différenciées du bon état écologique des estuaires :

- le groupe des scientifiques et des experts qui définissent le bon état écologique à partir d'une vision dynamique, mais qui peinent à mettre en adéquation cette vision dynamique des estuaires et des incertitudes qui en découlent quant au futur, avec la vision administrative qui ne sait pas gérer l'incertitude et exige que les experts produisent des certitudes... ;
- les associations naturalistes et les militants écologistes, pour qui le bon état écologique est avant tout inscrit dans un passé révolu, dans un âge d'or disparu de la nature qu'il faudrait s'efforcer de reconstituer.
- les industriels et acteurs économiques, pour qui l'idée de bon état écologique est illusoire et qui préfèrent parler de « vernis vert ». Pour eux, la DCE est surtout une lourdeur administrative de plus, qui apparaît potentiellement comme un risque de gel de futurs projets économiques ;
- les usagers qui, pour la plupart, limitent leur vision écologique à « la nature près de chez soi » et n'ont qu'une vision géographique segmentée et parcellaire. Le bon état écologique se caractérise avant tout par le maintien ou non d'un ensemble d'usages et de services (récréation, pêche, chasse, voies de communication) et d'une qualité de vie (notamment des paysages).

Lorsque les populations s'intéressent au bon état écologique, en évacuant enjeux économiques et catastrophisme, l'intérêt pour la qualité du milieu est lié à une activité de loisirs ou professionnelle. Ainsi, les pêcheurs, les sportifs, les jardiniers ou les touristes fondent leur connaissance du milieu estuarien sur des herbiers et bestiaires issus du passé (voire d'un certain folklore). Les eaux contaminées par l'agriculture et l'industrie, l'urbanisation et l'industrialisation ne remettent aucunement en question les usages sociaux. Même si on

observe des interdictions de prélèvement pour les coquillages, cela n'enlève rien à la passion éprouvée pour ces usages ordinaires.

Même si les scientifiques, les politiques et les écologistes tendent à minimiser les faits, cette attitude des usagers est en bonne adéquation avec les résultats d'Eubaromètre 2013, selon lesquels les préoccupations concernant l'environnement sont très minoritaires par rapport à celles liées à l'emploi et à la sécurité.

Lettre de l'agence de l'eau Loire-Bretagne, février 2014

Le baromètre 2013 de l'opinion, agences de l'eau-Onema-ministère de l'Écologie, explore la perception spontanée d'une rivière en bonne santé. Les Français évoquent d'abord « une rivière riche en poissons », « à l'eau claire, transparente », « avec une flore et une faune présente dans l'eau et ses alentours », « une rivière non polluée », « sans déchets », « une rivière vivante », « en mouvement », avant d'évoquer « une rivière où l'on peut se baigner » ou « dont l'eau est potable ».

Un bref état des lieux

Pour le bassin Loire-Bretagne (2013), environ 30 % des cours d'eau sont en bon état écologique en ce qui concerne l'évaluation de l'état des eaux 2011, sans évolution significative, à l'échelle du bassin, depuis 2007. Il apparaît que, pour l'état écologique des cours d'eau, les deux premières causes de dégradation sont l'eutrophisation et les altérations morphologiques. Ces deux éléments sont d'ailleurs très liés à l'impact des seuils en rivière (eutrophisation, banalisation des habitats et obstacle aux migrations). Ainsi, la restauration de la morphologie apparaît comme le levier le plus puissant pour améliorer l'état écologique des cours d'eau. Le second est la lutte contre les pollutions, spécialement contre toutes les formes du phosphore.

Une évaluation des cours d'eau en 2011, faite par l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, aboutit aux principales conclusions suivantes :

- seule la moitié des cours d'eau présente un bon état. Les stations présentant des états moyens à mauvais sont

principalement situées sur les cours d'eau nord-alpins impactés par l'énergie hydraulique, dans les zones où prédomine l'agriculture intensive (bassin de la Saône, vallée du Rhône), ainsi que dans les zones fortement soumises à l'urbanisation (pourtour méditerranéen) ;

- 60 % des rivières ont subi des altérations physiques :
 - un tiers des rivières a un régime hydrologique altéré. Outre le mode de fonctionnement des usines hydroélectriques par éclusées, qui ont un impact direct sur la reproduction et la vie des invertébrés et des poissons, ce sont les prélèvements d'eau, notamment pour l'irrigation, qui affectent la qualité des cours d'eau ;
 - 50 % des rivières présentent des problèmes de continuité écologique et sédimentaire. Près de 20 000 seuils et barrages bloquent la circulation des poissons et des sédiments, et provoquent des dégâts parfois importants sur les ouvrages (ponts, routes...) ;
 - 54 % des cours d'eau ont subi des altérations de leur morphologie. La destruction des habitats, les digues qui limitent les zones d'expansion des crues ou empêchent les crues « juste débordantes », diminuent les possibilités de reproduction de certaines espèces.

Selon le bilan dressé par l'Agence de l'eau, 38 % des cours d'eau de Seine-Normandie en 2010 sont en bon état écologique, ce qui serait un progrès important par rapport aux 23 % de 2007. Mais certaines portions du bassin (11 %) se sont dégradées sous l'effet de la poursuite de l'urbanisation, du vieillissement des réseaux ou du changement de mode d'occupation des sols. Les importants efforts consacrés depuis dix ans à la réduction des pollutions d'origine industrielle et domestique portent leurs fruits. Selon l'agence de l'eau Seine-Normandie (AESN), la qualité de l'eau des rivières s'est améliorée entre 2007 et 2010. Concernant l'état chimique, 25 % des cours d'eau ont progressé et 31 % sont en bon état. « Ce résultat cache une amélioration spectaculaire », indique Heri Andriamahefa, chef du service Connaissance des milieux aquatiques. Si l'on retire le paramètre des hydrocarbures aromatiques polycycliques, les HAP

– il s’agit de résidus de combustion d’hydrocarbures qui proviennent, pour l’essentiel, des pollutions atmosphériques ou du lessivage des routes – qui à lui seul décline un grand nombre de cours d’eau, on atteint 92 % de rivières en bon état.

Les progrès enregistrés ne doivent pas faire oublier que les objectifs de la Directive cadre sur l’eau sont loin d’être atteints. Au rythme actuel, 45 % des rivières atteindront (peut-être...) un bon état écologique en 2021, alors que la France s’est donné pour objectif d’en assainir 66 % dès 2015...

Intérêts et limites de la notion de bon état

La DCE a voulu utiliser le compartiment biologique comme juge de paix pour évaluer l’état des écosystèmes. Néanmoins, la transposition en termes opérationnels de la notion de « bon état écologique » n’est pas simple. La démarche normative basée sur les indices biotiques a l’inconvénient de mal prendre en compte les dynamiques temporelles de la diversité biologique sous la contrainte du changement global. La biodiversité est en effet à la mode, mais l’écologie peut-elle fournir des modèles simples et rigoureux pour décrire et prévoir l’état des écosystèmes ? Ce n’est pas encore le cas, semble-t-il, d’autant que la surveillance, la gestion, ou la législation exigent une définition plus précise et plus objective du concept de bon état écologique.

La notion de bon état écologique, trop souvent présenté comme un concept scientifique, ne relève pas de la seule science écologique. C’est à la société de lui donner une déclinaison opérationnelle. La notion de bon état, comme celle de bon potentiel, incite à se poser les questions : bon état pour quoi ? Bon état pour qui ? Pour la santé humaine ou celle des poissons ? Pour produire de la biomasse ou pour satisfaire aux besoins ludiques ? Pour contribuer à l’économie industrielle ou pour satisfaire les mouvements militants ? Pour répondre aux exigences de Bruxelles ou pour améliorer le cadre de vie ? Ce qui renvoie, selon les cas, à des questions relatives soit au

fonctionnement écologique, soit aux usages des systèmes, soit encore à des considérations éthiques ou esthétiques.

Le concept de bon « état écologique » est aussi le produit d'un système de représentation des acteurs : les scientifiques, les ingénieurs, les utilisateurs et les gestionnaires. Dans un tel contexte, « la restauration du bon état écologique ne relève pas seulement du domaine réglementaire et de procédures de protection et de gestion ; la décision publique doit aussi prendre en compte la perception et l'appropriation sociale des mécanismes d'évaluation et d'indication » (Bouleau, 2007).

Selon l'agence de l'eau Rhône-Méditerranée, « le bon état écologique est d'une certaine façon la résultante de compromis entre un niveau d'exigence environnementale (maintien des fonctionnalités écologiques et des communautés biologiques caractéristiques du type de milieu considéré) et le développement des activités humaines » (secrétariat technique du Sdage, 2011). Le but est de maintenir des systèmes écologiques susceptibles d'apporter des bénéfices à une large gamme d'activités sociales et économiques : régulation des inondations, autoépuration, baignade, production d'eau potable, etc. On peut dire par là que le bon état des eaux s'inscrit dans une politique de développement durable – au sens écologique, économique et social. Et c'est par la concertation, ou la bonne gouvernance au sens de la DCE, que l'on devrait trouver les termes d'un compromis. Il s'agit donc de construire une alternative crédible à l'état actuel des cours d'eau par la remise en question des différentes formes de pollutions, ou d'obstacles, qui en limitent actuellement l'usage. C'est l'ambition à laquelle nous invitait L. Mermet (2005) dans son ouvrage *Construire des écologies futures*. Quoi qu'il en soit, les discussions autour de la notion de bon état, même si le concept est critiquable, ne doivent pas faire oublier la lutte contre la pollution des eaux, une priorité clairement affichée pour améliorer la qualité de nos cours d'eau.

Pour en savoir plus

Agence de bassin Loire-Bretagne 2013. Directive cadre sur l'eau. État des masses d'eau 2011. État écologique des eaux de surface. État chimique des eaux de surface et des eaux souterraines. État quantitatif des eaux souterraines. Secrétariat technique de bassin Loire-Bretagne (sur le web).

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, 2012. Impact du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Bilan des connaissances (sur le web).

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, 2013. L'état des eaux des bassins Rhône-Méditerranée et Corse. Situation 2011. 31 pages (sur le web).

Agence de l'eau Rhône-Méditerranée et Corse, 2014. Contamination de l'eau par les substances – Quelles connaissances ? (sur le web).

Agence de l'eau Seine-Normandie, 2013. État des lieux du bassin de la Seine et des cours d'eau côtiers normands (sur le web).

Bouleau G., 2007. La gestion française des rivières et ses indicateurs à l'épreuve de la directive cadre. Analyse néo-institutionnelle de l'évaluation des cours d'eau en France. Thèse de doctorat d'AgroParisTech. 450 p. Mention honorable avec les félicitations du jury.

Boulton A.J., 1999. An overview of river health assessment: philosophies, practice, problems and prognosis. *Freshwater Biology*, 41: 469-479.

Calow P., 1992. Can ecosystems be healthy ? Critical considerations of concepts. *J. Aquat. Ecosyst. Health*, 1: 1-5.

Féménias D., Sirost O., Evrard B., 2011. Les loisirs nautiques dans l'estuaire de la Seine : médiations territoriales, consciences du milieu. *Vertigo*, hors-série 10.

Karr J., Dudley D.R., 1981. Ecological perspective on water quality goals. *Environmental Management*, 5(1): 55-68

Leopold A., 1949. *A Sand County Almanac and Sketches Here and There*. Oxford University Press, États-Unis.

Mermet L. (dir.), 2005. Étudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales. P.I.E.-Peter Lang, coll. EcoPolis, 411 p.

Projet Beest, 2011. Synthèse – vers une approche multicritère du bon état écologique des grands estuaires.

Rapport D.J., 1995. Preventive ecosystem health care: the time is now. *Ecosystem health*, 1: 127-128.

Rapport D.J., Costanza R., McMichael A.J., 1998. Assessing ecosystem health. *TREE*, 13: 397-402.

Regier H.A., 1993. The notion of natural and cultural integrity. In Woodley *et al.* (eds), *Ecological integrity and the management of ecosystems*, p 3-18.

Sayeux A.-S., Sirost O., 2010. Analyse de la presse sur le bon état écologique. Projet Liteau-Beest : Vers une approche multidisciplinaire du bon état écologique des grands estuaires. GIP Seine-Aval.

Secrétariat technique du Sdage, 2011. Qu'est-ce que le bon état des eaux ? Agence Rhône-Méditerranée.

Sirost O., L'Aoustet O., Ajcardi R., 2007. Perception du risque chimique chronique lié à la qualité de l'eau chez les acteurs et usagers de l'estuaire de la Seine. Programme Seine-Aval 3, Rapport scientifique Seine-Aval 3 (sur le web).

Steyaert P., Ollivier G. 2007. The European Water Framework Directive: How Ecological Assumptions Frame Technical and Social

Change. *Ecology and Society* vol. 12, n° 1, p. 25.

USGPO (US Government Printing Office), 1972. Report of the Committee on Public Works – United States House of Representatives with Additional and Supplemental Views on H.R. 11896 to Amend the Federal Water Pollution Control Act. House Report 92-911. 92nd Congress, 2nd session, p. 149.

¹²Une NQE (norme de qualité environnementale) est la concentration d'un polluant dans le milieu naturel qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et l'environnement.

¹³Selon la DCE, ce sont des eaux de surface situées à proximité des embouchures de rivières ou de fleuves, qui sont partiellement salines en raison de leur proximité des eaux côtières mais qui restent fondamentalement influencées par des courants d'eau douce.

La multifonctionnalité des rivières

« Poser un regard rétrospectif sur les multiples manières dont l'homme a investi le fleuve au cours de son histoire nous permet aujourd'hui de comprendre en quoi, et comment, cet "objet de nature" est peut-être surtout un objet social. Procédons d'abord à un rapide inventaire. Comme tout cours d'eau, le Rhône constitue pour ses riverains une ressource directe : pêche, transport, force hydraulique, irrigation, eau potable, rejet de déchets... sont quelques-uns des usages classiques que l'on croise au fil du temps et de son histoire. À ceux-ci s'ajoutent toutes les activités utilisant l'espace qu'il crée avec sa plaine alluviale : agriculture, cueillette, chasse, implantations manufacturières. Enfin, il supporte également tout ce qui peut relever du temps de non-travail : baignade, pêche, sports nautiques, guinguettes, fêtes, joutes et spectacles ont animé, et animent ses rives, son lit, ses berges. »

André Vincent in *Le Rhône, un fleuve en devenir*, 2006

L'aménagement des fleuves est une expression qui inclut tout à la fois des actions liées à la sécurité des biens et des personnes, à la réduction des préjudices (prévention des inondations), à une amélioration des services (navigation, énergie, aménités), ainsi qu'à l'amélioration du confort et du cadre de vie des riverains. Depuis quelques décennies, on a également développé des activités de restauration qui ambitionnent de redonner aux cours d'eau un air de « naturalité » en gommant les « dégradations » dont ils ont fait l'objet. Une ambition parfois un peu caricaturale, voire idéologique, qui ne peut se concevoir que sous une forme de compromis entre des héritages du passé, des usages actuels des cours d'eau et des objectifs écologiques qui restent, le plus souvent, encore à préciser.

Les cours d'eau ont largement contribué au développement de nos économies. En Europe, les sols alluviaux des grands cours d'eau ont probablement accueilli les premiers agriculteurs, qui y créèrent surtout des herbages pour le bétail (Knight et Howard, 1995). Les populations sédentaires se développèrent près des vallées et des lacs pour profiter de l'eau et des terres fertiles, ainsi que des

ressources de la pêche. Les prairies de fauche et les terres arables prirent la place des forêts alluviales. Puis les cultures vivrières se développèrent aux dépens des prairies dans la plaine inondable, malgré les crues fréquentes. Les zones humides alluviales fournissaient la biomasse : bois de chauffage, feuillier pour nourrir le bétail, saule pour la vannerie, etc. « Les rivières de la Gaule n'étaient pas des espaces sauvages, vierges de toute occupation humaine. Les pêcheurs devaient y occuper une place importante en construisant des viviers, des barrages, en posant divers engins de pêche » (Izarra, 1993).

Les civilisations se sont développées avec la maîtrise de l'eau, quand l'homme s'est révélé capable d'appliquer des techniques permettant de pallier aux aléas de la nature. Dans le monde essentiellement agricole du Moyen Âge, les cours d'eau avaient un rôle stratégique. Ils fournissaient l'énergie, bien avant l'apparition des machines à vapeur ; ils étaient des voies de communication privilégiées pour le transport des marchandises et des hommes ; ils fournissaient l'eau pour les usages domestiques, artisanaux et agricoles... tout en assurant l'évacuation des déchets. Enfin, la pêche représentait une ressource importante dans le monde chrétien. Pas surprenant, dans ces conditions, que beaucoup de nos villes se soient développées le long des fleuves suscitant, en retour, d'autres aménagements pour protéger les personnes et les biens des caprices des fleuves ! Aux XII^e et XIII^e siècles, l'essor des villes va s'accompagner d'une maîtrise accrue des rivières avec la mise en place des moulins hydrauliques, des grandes canalisations fluviales, des levées de protection contre les crues, de barrages, etc. « Sans la Seine, l'Oise, la Marne, l'Yonne, Paris ne mangerait, ne boirait, ni même ne se chaufferait à son aise » écrivait Fernand Braudel à propos d'une période qui s'étend pratiquement sur tout l'Ancien Régime.

Tous ces usages ont durablement marqué la physionomie des vallées et modifié le régime et le débit des rivières ainsi que la qualité des eaux. Les travaux réalisés au cours du XX^e siècle s'inscrivent dans cette histoire des aménagements et viennent se surimposer aux aménagements antérieurs ! Nos cours d'eau ont donc depuis

longtemps perdu leur caractère « naturel » du fait de l'anthropisation du lit et du bassin versant. Cette anthropisation correspondait à des usages dont certains ont perduré, parfois sous une forme différente, alors que d'autres ont disparu. Ainsi, l'usage des cours d'eau comme force motrice pour les moulins a évolué vers la production d'énergie électrique. Mais la navigation et la batellerie qui furent longtemps essentielles à notre économie sont en déclin, même si on évoque souvent leur renaissance possible. Quant aux préoccupations environnementales qui sont une autre forme d'usage des cours d'eau, elles se sont progressivement développées au cours des dernières décennies pour devenir un des éléments structurant de la politique de gestion des systèmes fluviaux.

Les cours d'eau sont ainsi des lieux chargés d'histoire, des milieux patrimoniaux qui conservent les traces des activités et des usages d'autrefois, mais dans lesquels se mettent en place de nouvelles activités dont les conséquences environnementales s'inscrivent dans un contexte général déjà fortement anthropisé. Ce sont donc des systèmes hybrides, des anthroposystèmes au sens strict, soumis à la fois aux contraintes des éléments naturels et aux contraintes anthropiques. Il est indispensable de s'en souvenir quand on parlera de restauration des cours d'eau.

Les autoroutes fluviales

Les cours d'eau (les « chemins d'eau ») sont utilisés depuis très longtemps pour le transport des hommes et des biens. La navigation ne concernait pas que les grands fleuves : beaucoup de cours d'eau de moindre importance étaient également navigués, jouant le même rôle, selon certains historiens, que les multiples chemins vicinaux.

« Les premiers systèmes de communication un tant soit peu performants, permettant de transporter à moindre coût et en grande quantité des marchandises et des hommes, se sont édifiés sur l'eau. Les premières grandes civilisations sont nées le long du Nil, de l'Euphrate et du Tibre parce que ces fleuves ont été les premières grandes voies de navigation unifiant d'immenses territoires. Là, le

vent souffle toujours de l'embouchure vers la source, si bien qu'il suffit de tendre une voile sommaire sur un mauvais radeau pour remonter le cours, puis de la baisser pour se laisser descendre, emporté par le courant » (Rasse, 2000).

Les conditions de navigation n'étaient pas les mêmes dans chaque bassin fluvial selon la vitesse du courant, le régime des vents, la pente, les périodes d'étiage et de hautes eaux, etc. Les formes de navigation étaient donc variables : à la descente, batelleries à voile avec des vents dominants comme sur la Loire, la Garonne ou les estuaires ; à la remontée, recours au halage (figure 9.1) par traction humaine ou animale, etc. L'image qui ressort de la Gaule à la lumière de ses fleuves est celle d'un isthme traversé au moyen de voies fluviales qui, raccordées entre elles par de courts et faciles portages, relierait les deux mers (Izarra, 1993).

Les Anciens ne connaissaient pas l'écluse à sas permettant aux embarcations de franchir des dénivellations importantes. Le système fut seulement inventé au ^{xv}^e siècle. Mais on savait néanmoins régulariser les cours d'eau, créer des retenues à l'aide d'ouvrages désignés, selon les termes médiévaux, « pertuis » ou « bâtis ». La construction de barrages mettait en jeu des techniques voisines de celles de l'irrigation et de l'hydraulique que les Romains maîtrisaient déjà. Certains de ces ouvrages créaient des retenues dont l'eau était utilisée en période d'étiage pour assurer une navigation temporaire : la navigation par éclusées.

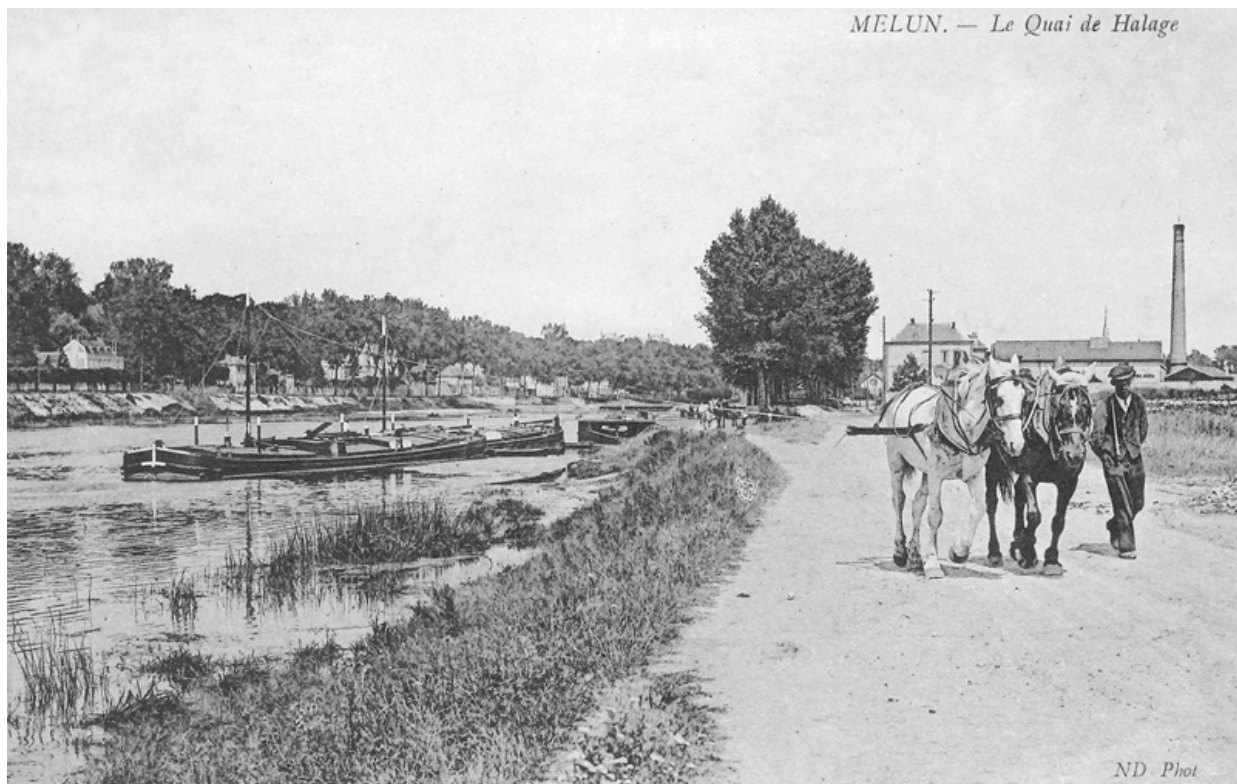


Figure 9.1 Quai de halage à Melun.

Les chemins de halage qui longent de près la berge des voies d'eau navigables permettaient autrefois la traction des péniches et des coches d'eau par des chevaux ou des hommes. Ces chemins étaient grevés d'une servitude de halage (espace de 7,80 mètres en bordure du cours d'eau) pour la libre circulation des équipages. Avec la motorisation des bateaux, les usages ont évolué et ces chemins sont maintenant utilisés par les promeneurs et les randonneurs à pied ou à vélo. Néanmoins, des riverains peu scrupuleux se sont approprié cet espace au grand dam des randonneurs, qui demandent l'application de la loi et leur réouverture.

Les rivières et l'aménagement du royaume vu par Vauban

Un cours d'eau devient un véritable instrument commercial lorsqu'il est aménagé pour la batellerie et le transit des marchandises. Il se détériore rapidement dès qu'il n'est plus entretenu. Les rois, possesseurs de voies navigables (chapitre 2), n'ont eu de cesse d'aménager les cours d'eau pour permettre la navigation et le commerce. Colbert, par exemple, avait lancé les projets de

navigation sur l'Aube ainsi que de jonction de la Seine à la Loire en 1663, de jonction de la Saône à la Loire en 1666, et l'aménagement de la Dordogne, en 1679, sans parler bien sûr du canal du Languedoc. Vauban, avec les mêmes préoccupations, se livre à des calculs comparatifs des avantages de la route et de la voie d'eau en matière de transports des marchandises. Il conclut que les bateaux permettent d'acheminer des quantités importantes à un moindre coût : « Un bateau de raisonnable grandeur, en bonne eau, peut lui seul avec six hommes et quatre chevaux, mener la charge que 400 chevaux et 200 hommes auraient bien de la peine à mener par les charrois ordinaires ».

Au cours des années 1690, Vauban, écrit le *Mémoire pour la navigation des rivières*, véritable plaidoyer pour un aménagement systématique et une unification du réseau fluvial français. Au total, il recense 143 cours d'eau qui, même modestes, peuvent être rendus navigables, au moins une partie de l'année. Il prévoit aussi d'ouvrir des canaux de jonction en assez grand nombre. L'extension du réseau navigable doit permettre, dit-il, de stimuler les échanges marchands et de favoriser l'enrichissement du royaume.

Quatre fleuves du royaume, jugés essentiels pour la circulation marchande, font l'objet d'un véritable développement (la Seine, la Loire, l'Adour et le Rhône). Vauban fournit des indications sur les contraintes physiques de la navigation (débit, profondeur, rochers...) mais aussi sur les caractéristiques techniques des bateaux susceptibles d'emprunter des rivières aux eaux peu profondes : par exemple, la Loire « ne porte que des bateaux légers et fort plats » (les chalands) et la Seine de « grands bateaux » qui peuvent naviguer.

L'aménagement des cours d'eau est un volet important du travail de l'ingénieur des Ponts et chaussées au siècle des Lumières, notamment la lutte contre les obstacles naturels : « Avant que l'on eût vaincu les obstacles que la nature avait placés entre les hommes, en coupant les montagnes pour établir des chemins, en rendant les rivières navigables à l'aide des chaussées, en ouvrant des communications utiles par le moyen des ponts, chaque pays était

réduit à ses productions. L'abondance les mettait à vil prix ; une année de disette faisait périr des milliers d'hommes. L'agriculture découragée languissait » (Millard, 1993). De manière symbolique, le technicien, à l'instar du philosophe ou de l'économiste, mène ainsi croisade contre les blocages dont souffre la société. Dans les régions méditerranéennes, où les conditions naturelles ne se prêtent guère à la navigation ou au flottage, l'objectif des aménagements est la protection des cultures et des habitats contre les crues d'automne ou de printemps, souvent violentes.

L'aménagement de l'estuaire de la Seine au XIX^e siècle

Jusqu'au milieu du XIX^e siècle, l'estuaire de la Seine était un système dynamique soumis aux facteurs naturels qui remodelaient perpétuellement sa morphologie et son hydrodynamisme. La Seine était un fleuve large et peu profond dont le lit était divisé en de multiples bras et dont l'embouchure était constituée de bancs de sable mobiles. Le lit mineur de Rouen à Caudebec était, quant à lui, formé d'une succession de hauts-fonds et de fosses. Mobilité du chenal, risques d'ensablement, caprices hydrologiques, constituaient bien entendu de nombreuses contraintes pour la navigation de sorte que la Seine est restée longtemps loin des grandes routes commerciales. Au début du XIX^e siècle, les navires qui remontaient du Havre à Rouen étaient des bateaux de 2 à 3 m de tirant d'eau, ne pouvant pas transporter plus de 120 t de marchandises. Le temps de transit pouvait atteindre trente jours avec des échouages à chaque marée.

À Poses, le franchissement du pertuis qui s'étendait sur 3 km était impossible lors de crues ou de sévères étiages. Il fallait de 16 à 56 chevaux pour halier les plus grands bateaux en charge et plus de cinq heures de manœuvre. Au milieu du XIX^e siècle, 450 hommes travaillaient au halage des bateaux à Poses, où différentes activités induites s'étaient développées : relais d'écurie, tavernes, bourreliers, cordiers, charpentiers, etc.



Figure 9.2 Le barrage de Poses et les écluses d'Amfreville-sous-les-Monts ont été construits de 1879 à 1885, à 160 km en amont de l'embouchure de la Seine, là où la marée n'a plus d'effet. (photo C. Lévêque)

Il était à l'époque le barrage avec la retenue la plus élevée (5,35 m) et la chute d'eau la plus forte (4 m). Il a entraîné une élévation du niveau de la Seine de près de 1,20 m en amont du barrage. Le barrage arrête l'eau grâce à des déversoirs mobiles montant ou descendant selon les besoins. Il a été conçu pour faciliter la navigation au niveau du pertuis de Poses.

Dans un contexte économique qui visait à développer des activités portuaires et industrielles, des aménagements de grande ampleur (figure 9.2) ont été réalisés dans la seconde moitié du XIX^e siècle, de Poses à l'embouchure, afin de raccourcir les temps de parcours de Paris à la mer. En 1824, on voit apparaître des projets visant à transformer Paris en grand port maritime pouvant accueillir des navires semblables à ceux entrant dans le port du Havre. Cela impliquait, à l'époque, un tirant d'eau de 5 à 6 m de Paris à la mer... Aujourd'hui, il faut un tirant d'eau minimum de 11 m (Foussard, 2010).

Outre les obstacles naturels, les ponts constituaient aussi des entraves à la navigation. Ainsi, le pont de Pont-de-l'Arche, non loin de l'actuel barrage de Poses, constituait, au XIX^e siècle, le point noir le plus redouté de l'estuaire amont. Ce pont possédait 23 arches dont la majorité était occupée par des moulins et l'arche, permettant aux bateaux de circuler, était étroite. Ces structures engendraient une élévation du niveau de l'eau en amont, ainsi que d'importants remous à leur niveau et une chute d'eau à l'aval. D'autre part, les pêcheries fixes installées dans le cours principal, constituaient aussi un obstacle à la navigation.

De nombreux travaux se sont ainsi succédé jusqu'à nos jours, de telle sorte qu'actuellement 76 % des berges de la Seine sont artificialisées, de Poses à Tancarville. Alors qu'en 1750 le secteur compris entre Poses et Oisel comptait 52 îles représentant environ 260 ha, il n'en restait que 3 en 2005, d'une superficie totale de 4,7 ha. Cette réduction est liée ironiquement aux travaux « d'amélioration de la Seine », sous-entendu, de la navigation. De manière générale la chenalisation de la Seine a modifié le pouvoir érosif des courants ce qui, associé aux travaux de dragage, a engendré un approfondissement du chenal.

Les aménagements du port du Havre dans le cadre de Port 2000 permettent maintenant l'accès à des bateaux de 14,5 m de tirant d'eau en toute condition de marée. Mais les aménagements impliquent de mener des interventions continues pour maintenir un chenal en état d'accueillir des navires de tirant d'eau de plus en plus important.

Et les autres fleuves ?

Le Rhône fut le fleuve européen le plus fréquenté de l'Empire romain, mais la navigation y a toujours été difficile en raison de la forte pente de son lit et de ses crues brutales. Au milieu du XIX^e siècle, la descente, *descize*, s'effectuait « à gré d'eau », les bateaux étaient dirigés individuellement à l'aide de grands avirons de pointe, placés à l'avant et à l'arrière. La remontée était une tout autre affaire, elle

exigeait de très gros attelages, de vingt à quarante chevaux, et des hommes nombreux. Un « équipage » du Rhône, c'est-à-dire les bateaux, la cavalerie et les hommes, était une très grosse entreprise, et une « remonte » apparaissait comme une aventure. Aujourd'hui, ce sont des automoteurs puissants de plus de 2 000 tonnes, des pousseurs de barges de 5 000 tonnes et des bateaux fluvio-maritimes qui sillonnent le Rhône. Mais la voie d'eau est loin d'être saturée, en comparaison avec l'autoroute voisine.

« Ce fleuve dangereux est cependant couvert d'embarcations depuis des siècles. Dès l'époque romaine (et sans doute plus tôt), nacelles et bateaux de charge descendent et remontent le Rhône. Innombrables sont les corporations de bateliers que signalent les textes épigraphiques, d'autant que les affluents du fleuve – la Saône, bien entendu, mais aussi l'Ardèche, la Durance, l'Isère – ont leurs propres batelleries, depuis des siècles.

Cette navigation sera maintenue, avec des modifications peu révolutionnaires, jusqu'au milieu du XIX^e siècle, presque jusqu'à nos jours... En conséquence, jusqu'en 1850, le Rhône offrait le spectacle permanent, pittoresque, d'un pullulement d'embarcations traditionnelles à fond plat, aux tailles et aux noms divers : pénelles (pour le transport des chevaux), cyslandes ou sisselandes (du nom de Seyssel) ; rignes, sapines ou savoyardes (ces dernières ayant jusqu'à 70 m de long), chenards ou chênes fabriquées sur les bords de la Saône et qui servaient d'ordinaire au transport du blé. Comparés à ceux de la Loire, ces bateaux sont des colosses... Ajoutez les coches spécialisés dans le transport des voyageurs, les "voitures par eau", d'une quinzaine de mètres seulement de longueur, où les clients sont assis sur des bancs comme à bord des diligences. D'autres coches, plus petits encore, dits "les rapides", sont activés à la rame, tandis que les grands se contentent de glisser au fil du courant. » (Braudel, 1986)

La Loire est le seul cours d'eau d'Europe qui puisse être remonté à la voile sur plus de quatre cents kilomètres grâce à son orientation. La présence de ce double moteur naturel, vent à la remonte et courant à la descente, a considérablement facilité la mise en valeur économique du Val de Loire ; c'est la cause essentielle de la richesse ancienne du « jardin de la France ». Les nombreux ports aujourd'hui désertés vivaient notamment du transport fluvial de la pierre et du vin. La Renaissance française a trouvé là les conditions de son éclosion et de son épanouissement. La batellerie de la haute Loire présente

quant à elle deux caractéristiques spécifiques : c'est une batellerie industrielle depuis sa création, et elle se pratique uniquement à la descente, avec des bateaux démolis à l'issue d'un unique voyage.

Le flottage du bois

Le bois est un matériau encombrant et lourd. D'où l'idée de le transporter par voie fluviale, par des techniques de flottage, pour le faire parvenir au plus près des consommateurs. Au XVI^e siècle, les quantités de bois arrivant à Paris étaient énormes et les forêts proches de la capitale menacées d'épuisement. On allait donc chercher le bois plus loin, notamment dans le Morvan, qui fut considéré comme le grenier à bois de la capitale. La méthode la plus simple était celle du bois flotté à bûches perdues. Le bois était lâché dans les flots et descendait jusqu'à Clamecy, où il était arrêté par des barrages. Les bûches assemblées en radeaux, ou « trains », étaient ensuite acheminées jusqu'à Paris. On pouvait ainsi utiliser à moindre risque les secteurs navigables des rivières et éviter d'entraver la navigation. Il fallait huit jours pour accomplir le trajet de Clamecy à Paris (figure 9.3). Les péniches ont supplanté l'activité du flottage au XIX^e siècle, mais rapidement le charbon a remplacé le bois pour le chauffage, de telle sorte que l'activité de flottage a disparu dans les années 1920 (Roullier *et al.*, 2011).

Au XIX^e siècle, le trafic représentait en année moyenne 200 000 ou 300 000 stères de bois, ce qui correspond à 1 000 ou 1 500 trains. Le record est établi en 1804 avec 3 535 trains formés à Clamecy ainsi que 1 051 à Vermenton, pour un total d'un million de stères. Cela représentait la moitié de l'approvisionnement en bois de la capitale. Clamecy, bourgade de 5 000 habitants, compte alors 400 floteurs et compagnons de rivière qui surveillent la circulation des bûches, les repêchent ou les trient.

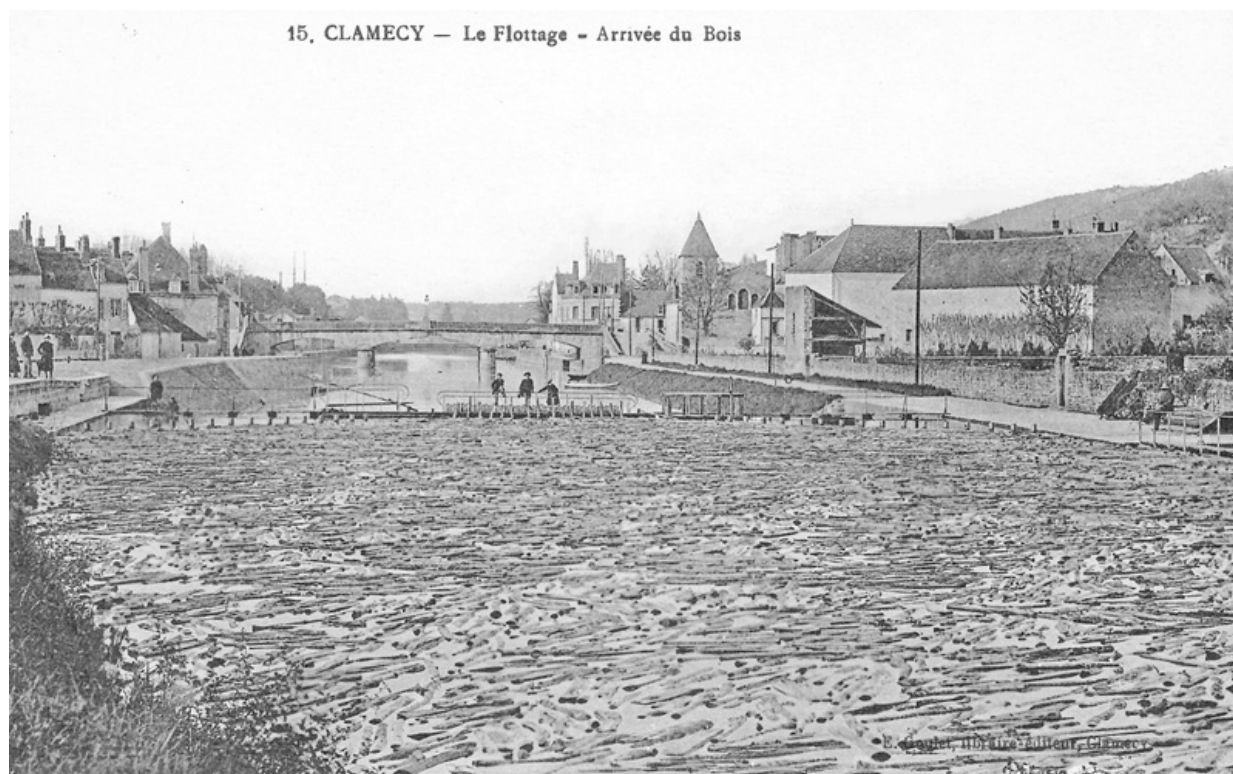


Figure 9.3 Du Moyen Âge jusqu'à la fin du XIX^e siècle, le flottage a été le mode de transport le plus courant pour le bois.

Les grumes descendaient les cours d'eau et s'accumulaient devant des barrages mobiles ou des écluses. Le flottage dit « à bûches perdues » était encore utilisé dans le Morvan au début du XX^e siècle. Il avait nécessité l'aménagement du bassin versant avec la construction de nombreuses petites retenues destinées à provoquer des chasses d'eau pour faciliter le flottage.

Pour assurer le flottage, il faut aménager les rivières. Aussi va-t-on créer de nombreux étangs ou retenues, des réservoirs qui vont permettre de grossir momentanément le débit des rivières pour effectuer des lâchers simultanés et grossir le flot pour convoyer les bûches vers Clamecy. Le réservoir des Settons, par exemple, fut créé pour favoriser le flottage sur la Cure. Changement d'époque, changement d'usage... Aujourd'hui, les lâchers d'eau qui assuraient autrefois le flottage permettent le rafting et le canoë-kayak !

« Les étangs vidés, un bruit sourd se fait entendre, le flot arrive. Il passe avec la rapidité de la flèche, entraînant dans sa course des multitudes de bûches qui se

pressent, se heurtent, jaillissent en l'air au contact d'une roche. En certains endroits, le ruisseau est resserré entre des entassements formidables de blocs ; alors, les bois s'accumulent, montent les uns sur les autres, comme les glaces de la Loire pendant un embâcle ; en arrière, le flot se gonfle, amoncelant sans cesse de nouvelles bûches. Puis un mouvement se fait dans la masse (la rôtie), à travers laquelle l'eau jaillit violemment ; on entend un craquement, un bruit terrible, la masse s'écoule et se précipite, des bûches se brisent, lançant des éclats dans toutes les directions. » (Ardouin-Dumazet, 1898)

Les aménagements associés au flottage ont modifié durablement les cours d'eau. Les retenues de tête de bassin ont considérablement accru le transport solide et ont provoqué l'incision des lits dans la partie amont des cours. D'autre part, on a modifié le tracé des rivières pour en réduire leur sinuosité et augmenter la profondeur. Ainsi, les lits de l'Yonne et de ses affluents apparaissent, un siècle après la fin du flottage, figés par des enrochements.

L'énergie des rivières

L'utilisation de la force motrice de l'eau est très ancienne. Domestiquée depuis l'Antiquité, l'eau anima la majeure partie des moulins qui tinrent, pendant des siècles, une place fondamentale dans l'économie occidentale et la vie quotidienne des Européens. En effet, la force motrice des cours d'eau a constitué, dès le Moyen Âge, la principale source d'énergie mécanique pour la société pré-industrielle. Durant cette période, la gestion des milieux aquatiques fut essentiellement hydraulique.

Le moulin à eau

Le moulin à eau, d'invention antique et méditerranéenne, s'est répandu à l'époque médiévale. Il peut être installé directement sur la rivière ou bien sur une dérivation de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres, qui permet une chute d'eau plus importante. Ces installations s'accompagnent souvent de barrages avec déversoir et de vannages destinés à régler l'écoulement des eaux.

La première description technique d'un moulin à eau date de l'an 25 av. J.-C. Les moulins firent une timide apparition sur les rivières de l'Occident au début de l'ère chrétienne. Au 1^{er} siècle de notre ère, Pline l'ancien écrit que, pour moudre les grains en Italie, on se sert d'un pilon nu ou encore de roues que l'eau fait tourner. Sur le Tibre naquirent les premiers moulins-bateaux à l'époque de Bélisaire, ce général byzantin qui défendait Rome en 536 quand les Goths assiégeaient la ville. De là, les moulins-bateaux gagnèrent la Gaule, où ils devaient connaître une grande expansion au Moyen Âge. Ils sont en effet faciles à déplacer en fonction des périodes de basses et hautes eaux, et ils sont en ville. Au 12^e siècle, on en trouve un peu partout en Europe. À l'époque mérovingienne, on commence à barrer les rivières avec des digues pour y établir des moulins, sous l'impulsion des établissements religieux.

On peut aussi trouver des moulins pendants, qui ont une roue à pales suspendue sous l'arche d'un pont, à une hauteur que l'on peut faire varier avec un cabestan. À Paris, il en existait sous les arches du Grand Pont depuis l'époque carolingienne. Au 14^e siècle, on compte 10 moulins sous le pont au Change, et 13 sous le pont dit des Meuniers. Il existait aussi des moulins sur pilotis en pleine eau, accessibles par des passerelles ou en barque.

C'est au 12^e siècle que se généralise l'utilisation de l'énergie hydraulique pour animer les marteaux et les soufflets de forge, avec mille ans de retard sur la Chine. Mais c'est surtout pour moudre le grain (figure 9.4) que les moulins se sont mis à proliférer sur nos rivières. Ce sont les seigneurs et les religieux qui sont à l'origine de l'expansion de la meunerie. On comptait environ 1 500 moulins dans toute l'Europe dès le 9^e siècle (Reynolds, 1984). Mais au 14^e siècle, la quasi-totalité des monastères cisterciens possède un moulin à eau, et les seigneurs y voient un moyen d'augmenter leurs revenus en rendant obligatoire la mouture des céréales dans leur moulin (chapitre 2). Dès la fin du 14^e siècle, les implantations des moulins dans les campagnes se multiplient jusqu'au milieu du 18^e siècle. On assiste également à une diversification des usages : moulins à tan, moulin à foulon, moulins à fer, moulins à papier, etc. (Gille, 1954). Au

xvi^e siècle déjà, de nombreux processus industriels dépendent de l'énergie hydraulique. À la fin du xvii^e siècle, Vauban estime qu'il existe environ 95 500 moulins en France, animés pour la plupart par l'énergie hydraulique : 80 000 moulins à farine, 15 000 moulins industriels et 500 usines métallurgiques (Thibaut et Vinot, 1989).

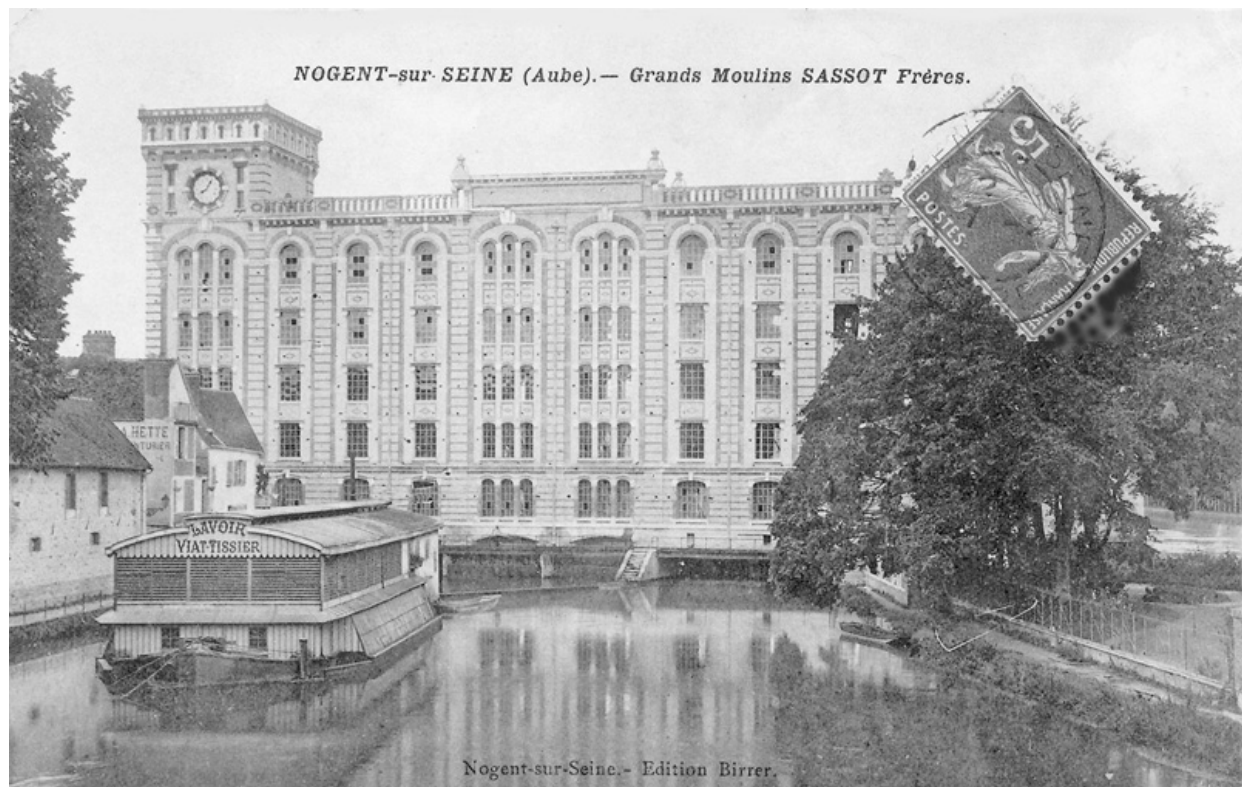


Figure 9.4 Grands moulins de Nogent-sur-Seine.

Le moulin, qui date du xi^e siècle, a été progressivement perfectionné. Reconstitué après un incendie en 1907, il disposait alors de 4 turbines hydrauliques produisant une force motrice de 450 chevaux, et une capacité d'écrasement de 80 tonnes par jour. Il cessera son activité en 1990 alors que la capacité journalière d'écrasement atteignait 240 tonnes. Au premier plan, un bateau-lavoir, autre élément du paysage fluvial d'autrefois, qui accueillait les célèbres lavandières.

Au milieu du xix^e siècle, le long du cours de la Sèvre nantaise (135 km), on dénombre 124 moulins. Leur espacement est de l'ordre du kilomètre. Mais les 20 premiers et les 20 derniers kilomètres comptent peu de moulins. La concentration des établissements est

fonction de la pente, la majorité des implantations se situant dans la partie la plus pentue. L'activité dominante est la mouture des céréales (Thibaut et Vinot, 1989).

À la veille de la Révolution, l'utilisation des cours d'eau à des fins énergétiques joue un rôle essentiel. L'eau est alors utilisée pour de nombreux usages : sciage du bois ou de la pierre, foulage des étoffes, broyage des écorces pour la tannerie, trituration de la pâte à papier, filage des fibres textiles, métallurgie, etc. Cette utilisation énergétique de l'eau implique la construction de nombreux canaux, dérivations et retenues pour le service des moulins et des usines hydrauliques, ce qui constitue à cette époque une des plus importantes actions d'aménagement de l'espace et de domestication de l'environnement en France.

L'instruction de l'Assemblée nationale d'août 1790 octroie la police des eaux et forêts aux assemblées de département et de district, avec pour mission de veiller au « libre écoulement des eaux ». Elle leur confie le soin « d'empêcher que les prairies ne soient submergées par la trop grande élévation des écluses, des moulins et autres ouvrages d'art établis sur les rivières ». La stagnation de l'eau est perçue comme le fléau absolu, pour l'agriculture comme pour la salubrité, et il faut donc écarter les obstacles en tout genre qui gênent les eaux courantes. Les cahiers de doléance du tiers état réclament unanimement la suppression de la banalité de moulin. On accuse par ailleurs les moulins d'être à l'origine des grandes inondations, dont celle de 1784 dans le bassin parisien, en contrariant l'écoulement des eaux.

« L'objet de ce mémoire est de dénoncer à la société M. de Navier, ci-devant seigneur de la Berlière, qui a construit à peu de distance de Roye sur la Matz un moulin qui ralentit le cours des eaux et donne lieu à leur stagnation et à leur débordement ; en vain a-t-on sollicité le seigneur de la Berlière pour faire cesser la cause de cette épidémie, le triste spectacle de ce marais fangeux, ces brouillards épais qui lui dérobent la clarté du soleil, ces émanations pestilentielles qui portent au loin les maladies et la mort, ne le touchent point. Sa conscience et sa cupidité se sont arrangées entr'elles et il se voit froidement environné de victimes qu'il immole. 60 personnes ont succombé en 1788, autant à peu près en 1789 ; 12 habitants sont morts cette année dans le cours du mois

de mars. Depuis cinq ans, ils ne peuvent que difficilement ou point, ensemer et récolter. En effet, en 1788, les moissons étaient encore sur terre en octobre, faute de bras pour recueillir. Les paroisses voisines sont venues au secours des malheureux habitants de Roye, et pour prix de leur sollicitude ils ont remporté les germes de l'épidémie et plusieurs la mort.

Si tant de funérailles, si les pleurs de tant de familles désolées, si le deuil et tant d'orphelins, si le cri de l'humanité ne peuvent rien sur le cœur inflexible du ci-devant seigneur de la Berlière, que peut la Société ? Tonner contre une telle barbarie et la dénoncer à l'Assemblée nationale dont le sceptre écrase les serpents politiques qui semblaient nés pour être le fléau de l'humanité et de l'économie rurale. »

Du 17 mai 1790. Extrait d'un livre manuscrit des séances de l'Académie d'agriculture de France.

Dans les faits, la construction de nouveaux moulins ou de nouvelles usines va s'intensifier dans les campagnes, en dehors des démarches administratives. Après 1815 démarre la première industrialisation française massivement fondée sur l'énergie hydraulique. Ce n'est qu'à la fin du XIX^e siècle que l'utilisation de l'énergie hydraulique se marginalise au profit de l'énergie thermique.

L'hydroélectricité

Au début du XX^e siècle, une grande partie des usages traditionnels des cours d'eau a disparu ou a régressé. Les voies de communication terrestres et ferroviaires supplantent la navigation fluviale. Les rivières sont de plus en plus endiguées pour protéger les hommes et les biens. En ville, on les recouvre sous prétexte d'hygiénisme et de sécurité, et on les utilise pour évacuer les eaux usées. Mais un nouvel usage se fait jour au début du XX^e siècle, qui fait suite à celui des moulins : l'hydroélectricité. Les ouvrages hydroélectriques peuvent être des usines au fil de l'eau qui ne nécessitent pas de retenues importantes, ou des usines de turbinage qui utilisent l'eau stockée dans une retenue artificielle.

En 2010, au niveau mondial, l'hydroélectricité représente 16,3 % de la production mondiale d'électricité contre 67,2 % pour les énergies

fossiles, et 13 % pour le nucléaire. Il existe environ 8 200 grands barrages qui produisent 3 250 TWh/an, mais la capacité techniquement faisable est estimée à 15 000 TWh/an. En France, la production annuelle moyenne est de 67 TWh, soit 12 % de la production électrique nationale. Il existerait entre 2500 et 3 000 centrales hydroélectriques, mais seulement une centaine, d'une puissance supérieure à 50 MW, fournissent les deux tiers des 67 TWh.

Serre-Ponçon : un réservoir multi-usages

Construit en 1955, le barrage de Serre-Ponçon (figure 9.5), implanté sur la vallée de la Durance, est la plus importante retenue d'eau de France, avec 1,2 milliard de mètres cubes d'eau. Les objectifs de sa construction étaient de :

- réguler le cours de la rivière et stocker l'eau pour la production de toute la chaîne hydroélectrique de la Durance ;
- constituer une réserve d'eau agricole de 200 millions de mètres cubes pour juguler les déficits chroniques d'eau et résoudre les conflits d'usages qui en résultaient sur la basse Durance lors des périodes d'étiage sévère.

Le barrage de Serre-Ponçon est également devenu, au fil du temps, un pôle d'attraction touristique majeur, propice au développement des activités de loisirs et de sports nautiques.

Selon les chiffres fournis par EDF en 2010, le bassin de Serre-Ponçon représente 40 % de la fréquentation estivale des Hautes-Alpes, soit plus de 10 % des revenus touristiques annuels de ce département. Plus de 5 000 actifs et 850 entreprises œuvrent dans ce secteur d'activité, générant un chiffre d'affaires de 210 M€.

Selon le rapport Balland sur la gestion des eaux et du lit de la Durance, rendu public fin 2002, le chiffrage de l'impact économique s'établissait à hauteur de :

- 150 M€ pour le tourisme ;
- 450 M€ pour la production hydroélectrique ;
- 950 M€ pour l'irrigation.

Le barrage est donc surtout une réserve d'eau pour l'agriculture : 150 000 hectares de terres agricoles sont irrigués *via* les prélèvements d'eau sur la Durance et le Verdon. En tout, 2 milliards de mètres cubes d'eau proviennent de ces deux rivières pour répondre aux besoins annuels d'eau potable, agricole ou industrielle. (d'après http://energie.edf.com/fichiers/fckeditor/Commun/En_Direct_Centrales/Hydraulique/Centres/Mediterranee/documents/publications/Dossier%20de%20presse%2050%20ans%20SP%20-%2010%20mars%202010.pdf - consulté le 23/11/2015)



Figure 9.5 Le lac-barrage de Serre-Ponçon, mis en eau en 1959 mais dont le projet de construction remontait à 1856, est le plus grand barrage en terre d'Europe.

Il fut conçu pour répondre à de nombreux usages mais il a suscité de nombreuses polémiques en raison du déplacement des populations et de la destruction de villages.

Les cours d'eau contribuent également indirectement à la production d'énergie car les centrales nucléaires ont besoin d'eau pour refroidir les réacteurs. Ainsi, 44 des 58 réacteurs nucléaires français situés au bord de rivières utilisent l'eau puisée dans ces dernières pour la restituer ensuite, plus ou moins réchauffée. Les centrales nucléaires doivent respecter des normes de débit minimal, avant de prélever l'eau nécessaire au refroidissement de leurs installations. Sur la Loire, en période d'étiage par exemple, lorsque le débit descend sous $60 \text{ m}^3/\text{s}$, les quatre centrales qui puisent à plein régime entre 3 et $10 \text{ m}^3/\text{s}$ sont tenues de maintenir un niveau d'eau suffisant pour le fleuve. Elles ont en outre l'obligation de ne pas dépasser une certaine

température dans les rivières (autour de 28 °C) lorsqu'elles y rejettent l'eau provenant des circuits de refroidissement. Quand cette température est atteinte, la centrale doit alors réduire son activité et, en dernier recours, arrêter les réacteurs.

Lors de la grande sécheresse de 2003, la situation a été critique pour plusieurs centrales qui ont été confrontées au respect de la législation. La sécheresse a en effet entraîné une baisse importante du débit des cours d'eau en période estivale, alors que la canicule suscitait une consommation accrue en électricité. Dans l'urgence, un décret a permis des dérogations limitées (1 degré pour les installations totalement équipées de tours de réfrigération ; 3 degrés pour les autres). Depuis, des mesures ont été prises, nous dit-on, pour pallier de tels aléas climatiques, notamment en équipant des centrales de procédés de refroidissement en circuit fermé.

La pêche professionnelle

De longue date les poissons ont été une source de nourriture pour les riverains. À la ligne, ou avec des filets et des nasses, ils ont fait l'objet d'une exploitation souvent intense. Ainsi, dès le XIII^e siècle, plusieurs ordonnances royales attribuées à Philippe le Bel et à son fils Charles le Bel visent à réglementer la pêche fluviale et à lutter (déjà) contre la surexploitation qui entraînait la rareté et la cherté des poissons. Ces ordonnances montrent la difficulté à faire appliquer une réglementation en matière d'engins et de pratiques (interdiction de pêcher certaines espèces en période de frai).

On attribuait le dépeuplement des rivières non seulement à la « malice » des pêcheurs, mais aussi à celles des « sergents et des gardes desdites rivières » qui avaient été chargés dans un premier temps de faire appliquer les réglementations, mais s'étaient révélés malhonnêtes. L'ordonnance de Charles le Bel en 1326 confie finalement ce rôle aux maîtres des eaux et forêts (administration créée en 1291) et à leurs agents, chargés de saisir les poissons et engins prohibés, qui doivent être brûlés.

À Paris, la profession de pêcheur est très ancienne et date probablement de la naissance de la ville. Les pêcheurs exploitaient une ressource locale car la Seine était très poissonneuse. On y trouvait, dit-on, en abondance des brochets, des carpes, des barbeaux, des anguilles, des lamproies, des ablettes, des brèmes, des gardons, des tanches. Le saumon y était commun aux époques de remontée.

Au XII^e siècle, on distinguait les pêcheurs utilisant la ligne (les pêcheurs à verge, qui sont surtout de pauvres gens) de ceux utilisant les filets (pêcheurs à engins). Cette distinction se perpétuera jusqu'au XIX^e siècle. Une réglementation très stricte régnait sur l'utilisation des filets. La taille des mailles était définie selon l'époque. En été, de Pâques à la Saint-Rémy, elles devaient être suffisamment grandes pour ne pas retenir une pièce de monnaie d'environ deux centimètres et demi de diamètre, appelée le « gros tournois ». En hiver, la taille était réduite jusqu'à gêner le passage d'une pièce d'un centimètre et demi, le « gros parisii ». Pendant la période du frai, de la mi-avril à la mi-mai, la pêche aux engins était prohibée. On ne pouvait pas pêcher où l'on voulait. La Seine était divisée en petites sections appartenant à des congrégations religieuses qui veillaient farouchement au respect de leurs droits. Au XVII^e siècle il existait des pêcheries sous tous les ponts de Paris. Il y avait des filets dormants en forme d'entonnoir terminé par une nasse, accrochés à des installations fixes. D'autres filets, traînés par des barques, raclaient le fond à la manière d'un chalut.

La vente du poisson était assurée par les femmes, qui vont prendre dans l'imagerie populaire une place particulière sous le nom de « poissardes », car leur richesse de vocabulaire en fait des personnages redoutés et pittoresques. Lors de la naissance d'un fils de France, elles ont le privilège de se rendre à Versailles pour complimenter le roi.

L'aménagement des vallées à des fins productives ou sécuritaires a profondément modifié l'écologie des cours d'eau. La multiplication des moulins et des seuils a probablement fait disparaître des zones

de frai, tout en modifiant les conditions d'écoulement favorisant notamment l'expansion des zones d'eau calme et leurs espèces associées.

Mais la demande en poissons est si forte au Moyen Âge que la pêche fluviale ne suffit pas à alimenter les centres urbains. La pisciculture d'étang va alors se développer dans les fonds de vallées, avec notamment l'introduction de la carpe. Le bassin de la Seine se couvre d'étangs piscicoles qui vont avoir une influence sur l'aménagement du fond de vallée. Les zones humides, notamment, reculent.

« Au mois de juin de l'année 1738, il y eut sur le pont Notre-Dame un grand remue-ménage. Un radeau de bois amarré à la grande arche fut agité de mouvements furieux. Ce radeau maintenait en bonne place un grand filet tendu en travers du courant. Les soubresauts de tout cet ensemble montraient qu'une prise importante venait d'être faite. Quelques instants plus tard, les pêcheurs sortaient de la nasse où il était venu se jeter un esturgeon prodigieux, long de sept pieds. De mémoire de Parisien, on n'avait jamais vu un poisson d'une telle taille ! Le bureau de la Ville à qui appartenait la pêcherie du pont Notre-Dame, considérant qu'une telle pièce ne pouvait être digne que d'un roi, résolut de l'offrir à Sa Majesté. On plaça l'esturgeon dans une sorte de baignoire. Un bateau l'emporta jusqu'à Sèvres, et de là, une voiture l'amena à Versailles où il fut présenté à Louis XV. Celui-ci se montra enchanté du cadeau et le maître pêcheur reçut une gratification qui était à la mesure de la taille de la bête et du plaisir du monarque. » (Lacordaire, 1985)

La rivière et les repeuplements en poissons

Sous l'Ancien Régime, la réglementation de la pêche est une réglementation du braconnage « car les poissons sont aussi rares dans les rivières que le gibier dans les forêts et garennes : les forestiers sont chargés de détruire les engins nouvellement prohibés et de récolter des amendes ». Il s'agit de lutter contre ceux qui pillent les biens seigneuriaux. Pendant la Révolution, le décret du 8 Frimaire de l'an II (1793) abolit les droits de pêche seigneuriaux pour proclamer « la liberté de pêche pour tous et sur tous les cours d'eau ». Cependant « la liberté octroyée aux pêcheurs est de courte durée. La loi du 4 mai 1802 rend à l'État le droit de pêche sur les cours d'eau domaniaux. La pêche aux engins est soumise à licence

et adjudication tandis que la pêche à la ligne [y] demeure libre » (d'après Breton, cité dans Barthélemy, 2003).

L'existence d'une période très courte pendant laquelle l'accès aux cours d'eau (au moins) domaniaux fut libre a alimenté le mythe d'abondance salmonicole sous l'Ancien Régime. On retrouve de manière récurrente des détails très précis sur des ouvriers qui se plaignent de manger du saumon tous les jours. Des écologues comme Max Thibaut ont réfuté ces arguments, mais le mythe de l'épuisement des ressources piscicoles du fait de la Révolution reste vif et le thème de l'épuisement des ressources halieutiques (Delbos, 1989) se développe au milieu du XIX^e siècle. Mais simultanément, en 1844, deux pêcheurs des Vosges découvrent (redécouvrent ?) la fécondation artificielle des poissons. Il s'ensuit rapidement un véritable engouement pour la « multiplication artificielle du poisson ». Selon le naturaliste A. de Quatrefages, on allait pouvoir « semer le poisson dans l'eau »... Les scientifiques s'emparent de l'affaire et tentent de s'imposer comme les sauveurs de la ressource halieutique. Le professeur Louis Léger, directeur du laboratoire de pisciculture de l'université de Grenoble, propose en 1910 une méthode de repeuplement reposant sur la capacité biogénique du cours d'eau, selon laquelle il y aurait un rapport strict entre le nombre d'individus dans un milieu donné et la quantité de nourriture accessible dans le milieu.

La science laisse espérer la possibilité d'une authentique maîtrise sur la nature. Pour l'embryologiste Coste en 1953 « c'est un bienfait de plus que les classes laborieuses recevront des mains de la science, et qui leur fera mieux sentir quel lien étroit unit, dans l'organisme social, ceux qui travaillent et ceux qui pensent ». Le dépeuplement a trouvé son antidote, le repeuplement par la « semaille » et « l'élève » et la « récolte ». La démarche consiste à « revivifier » la nature aquatique, aménager des « couvoirs » naturels pour entretenir la fertilité, ou entreprendre « l'élève » de poissons rares. Une autre option consisterait à créer des races domestiques et à « implanter des créations industrielles » qui seront autant de « fabriques de substances alimentaires ». Pour les tenants de cette option, on

remplacerait ainsi le travail « sauvage » de la nature par celui, « rationnel », de l'homme, en créant des fermes modèles.

Cet engouement ne dura pas. Mais on se souvient que cette idée a resurgi vers les années 1970. Euréka ! Les rivières se dépeuplent mais on dispose des moyens d'élever les poissons et de repeupler les rivières. Il va donc y avoir convergence des intérêts des pêcheurs et des scientifiques. Les sociétés de pêche, qui vont acquérir par la suite le droit de gérer les ressources halieutiques, vont s'associer à des piscicultures pour ré-empoissonner avec des espèces autochtones. Il va en résulter un grand brassage de populations entre bassins hydrographiques, ainsi que des introductions de nouvelles espèces.

Des usages récréatifs

Les nombreux usages récréatifs liés au cours d'eau s'inscrivent dans une histoire des loisirs qui a pris son essor au XIX^e siècle (figure 9.6). De nombreux usages des cours d'eau ont changé ou sont devenus caducs, et avec eux les métiers qui leur étaient associés. Mais d'autres usages sont apparus qui redonnent un rôle social aux cours d'eau. D'anciens sites portuaires ou industriels ont été réaffectés à des usages récréatifs. Des bases nautiques se développent, ainsi que des loisirs de proximité. Une typologie a été proposée pour l'estuaire de la Seine^[14] :

- Des usages de détente

Ils correspondent au temps dédié à se ressourcer, à récupérer physiquement des contraintes du quotidien. Les berges sont devenues par excellence un espace de promenade et de flânerie, que ce soit en ville ou à la campagne : sentiers pédestres, voies cyclables. Ces espaces sont également utilisés pour des pratiques transgressives (barbecues, pique-niques), plus ou moins tolérées.

- Des usages actifs traditionnels

Cueillette, chasse, pêche, agriculture : ces usages correspondent aux anciens métiers nourriciers. Certains de ces métiers ont évolué vers des activités récréatives, à l'exemple des jardins partagés, qui sont une activité d'appropriation des berges et éventuellement de reconversion d'anciens espaces industriels. Dans l'estuaire de la Seine, la chasse récréative avec 200 mares de chasse et leurs gabions est un autre exemple d'usage actif qualifié de « traditionnel ». Il en est de même de la pêche récréative.



Figure 9.6 La pêche à la ligne est certes un loisir, mais c'est aussi une activité sportive dans laquelle le plaisir de la pratique et de la compétition (avec l'établissement de records) prend le pas sur la consommation des prises.

- Des usages actifs modernes

De nombreuses activités sportives de plein air se sont développées sur les cours d'eau : kayak, aviron, voile, canoë, ski nautique, etc., qui regroupent de nombreux licenciés. Sur les berges, ce sont des sports tels que le vélo/VTT ou la randonnée qui sont privilégiés.

- Des usages naturalistes et patrimoniaux

Les loisirs verts ou autres usages naturalistes s'appuient sur la connaissance et l'observation de la faune et de la flore, ainsi que sur les paysages offerts par le cours d'eau. Des structures spécialisées organisent les loisirs naturalistes : sentiers découvertes, chantiers nature, etc.

De nombreuses activités se développent également autour du patrimoine bâti et des musées qui évoquent l'histoire du fleuve et de la navigation. Des croisières permettent de mettre en valeur le patrimoine fluvial, naturel ou culturel.

- Une mise en spectacle

Certains fleuves sont également le lieu d'une mise en spectacle. C'est le cas de l'Armada sur la Seine (figure 9.7), un grand rassemblement de voiliers anciens qui rappelle le caractère maritime du port de Rouen et son ouverture vers le monde. La mise en spectacle passe également par des feux d'artifices tirés sur les berges ou depuis les ponts, ou des événements sportifs, tels que les courses de motonautisme. Le courant impressionniste de la fin du XIX^e siècle nourrit également cette mise en spectacle.



Figure 9.7 L'Armada est un rassemblement de vieux gréements et de bateaux militaires qui se tient tous les cinq ans à Rouen. (photo C. Lévêque)

C'est l'occasion d'une fête de dix jours qui attire les foules, un moment privilégié de retour au fleuve pour les Normands et bien d'autres.

Conséquences écologiques des aménagements : le cas du Rhône

Les aménagements du Rhône se sont échelonnés selon trois phases.

Le fleuve naturel

Le Rhône est longtemps resté un fleuve naturel, en dépit d'une navigation difficile. La plaine alluviale était constituée d'une mosaïque de chenaux (les « lônes », en langage local) avec une grande diversité de milieux aquatiques, semi-aquatiques et terrestres. Mais le fleuve était renommé pour la violence de ses crues. Des digues ont

été construites au début des années 1800 afin d'en protéger les riverains. Ce sont des digues longitudinales, édifiées en surélévation de la plaine pour lutter contre les inondations et faciliter la circulation. Dans la moyenne vallée du Rhône ces « chaussées de terre » forment un linéaire de 100 km vers 1860, et de 300 km vers 1880. Dans le bas Rhône, plus de 300 km de digues sont édifiés depuis au moins le XII^e siècle.

Cependant, le fleuve a été relativement épargné par les grands travaux jusqu'à la fin du XIX^e siècle, malgré les réclamations des bateliers. À vrai dire, les autorités publiques hésitaient à investir le Rhône pour en corriger le cours, étant donné sa réputation de fleuve impétueux aux courants violents. Pourtant, il y avait environ trois mois par an ce que l'on appelait le « chômage des eaux », correspondant aux périodes où le fleuve n'était pas navigable en raison des crues ou des étiages prononcés.

La violence des crues, entraînant érosions et inondations, a légué à la vallée actuelle des forêts, des milieux humides et autres espaces naturels de grand intérêt écologique, forts dégradés aujourd'hui.

Le fleuve corrigé

À partir des années 1840, on entreprend d'aménager la voie fluviale afin d'améliorer la navigation. On construit d'abord des digues longitudinales pour resserrer le lit du fleuve. Mais cette technique est abandonnée dans les années 1880 au profit des aménagements Girardon (du nom de l'ingénieur qui les imagina). Le lit mineur est reconstruit dans les passages difficiles. Il s'agit d'un ensemble de digues en épis submersibles, qui créent un système de compartiments (« casiers » ou « carrés » en langage rhodanien) caractéristiques des paysages fluviaux de la vallée du Rhône.

Le résultat fut de concentrer les eaux dans un chenal aux berges stabilisées et à la profondeur régulière (plus de 1,6 m), permettant ainsi au fleuve de creuser lui-même le chenal de navigation. Ce sera le Rhône marinier jusqu'aux années 1950. Résultat, le fleuve a été profondément modifié par l'enfoncement de son lit mineur et

l'alluvionnement des zones protégées par les digues : les îles et les berges couvertes de graviers et de buissons de saules se sont transformées en forêts ; la plupart des bras du fleuve se sont asséchés.

Les successeurs de Girardon seront encore plus radicaux : ils vont mettre en œuvre le projet de canaliser le fleuve, en le ponctuant de barrages et d'écluses pour permettre le passage des gros bateaux. À cet enjeu s'ajouteront l'irrigation des terres agricoles et l'hydroélectricité. Ainsi, au début du ^{xx}^e siècle, on imagine le Rhône comme « un futur et gigantesque escalier de 18 marches, soit autant de seuils aménagés de manière similaire, du nord au sud de l'axe fluvial. Chaque bief doit comprendre un barrage de retenue et un canal de dérivation sur lequel on implante une usine hydroélectrique. » De hautes digues sont également construites afin de protéger les riverains des inondations. Des ouvrages de pompage et des prises d'eau drainent et irriguent les terres agricoles.

L'un des grands chantiers de la fin du ^{xix}^e siècle fut également la réalisation du canal de Miribel, au nord de Lyon, qui visait à réguler les crues souvent violentes, et faciliter la navigation dans ce secteur instable, composé de multiples îles. Plus de 3 000 personnes participent au gigantesque chantier (pour l'époque) du canal de Jonage, canal de dérivation de 19 km alimentant l'usine de Cusset. Le site de Cusset, d'une envergure considérable, a été aménagé entre 1894 et 1899 par la Société lyonnaise des forces motrices du Rhône. C'est une usine-barrage dont la production électrique devait permettre le développement de l'industrie de la soie, et le transport public par tramway à Lyon et Villeurbanne.

Le fleuve aménagé

Avec les travaux de la Compagnie nationale du Rhône (CNR), principalement entre 1950 et le milieu des années 1980, le Rhône a connu une seconde phase d'aménagement, pour répondre à plusieurs besoins : production hydroélectrique, développement de la

navigation à grand gabarit, irrigation des terres agricoles. Le fleuve fut ainsi canalisé.

La loi sur l'aménagement du Rhône votée en 1921 approuve le programme d'aménagement et douze ans plus tard, la CNR obtient la concession (pour quatre-vingt-dix ans, soit jusqu'en 2023) de l'exploitation et du fonctionnement des ouvrages sur le Rhône. Les premiers travaux concernent en 1938 le port Edouard Herriot à Lyon, ainsi que le barrage de Génissiat dont la construction débuta dans les années 1930, mais qui fut mis en eau en 1948.

Douze unités d'aménagement, dites « au fil de l'eau », furent construites, avec dérivation de la plus grande partie du débit dans des canaux, court-circuitant ainsi l'ancien cours du fleuve, barré par un barrage de dérivation. Ces parties court-circuitées ne reçoivent plus qu'un très faible débit en dehors des périodes de crues où la capacité du canal est dépassée. La longueur totale des parties court-circuitées atteint environ 150 km et celle des retenues 225 km, ce qui signifie que près de 50 % du Rhône français est régulé.

Les aménagements se poursuivront jusque dans les années 1980, époque à laquelle les mouvements écologiques mettront un frein à l'artificialisation du fleuve. En 1990, la CNR élabore une charte de l'environnement dans laquelle elle s'engage à participer à des actions de protection des milieux naturels, de remise en état des lônes, d'augmentation du débit, de construction de passes à poissons, etc.

Si l'aménagement du XIX^e siècle produisait un paysage relativement uniforme dans la vallée, où la végétation naturelle occupait une place importante, les travaux de la CNR ont entraîné de profonds bouleversements. La vallée a ainsi été « coupée » de son fleuve par le cloisonnement de l'écosystème alluvial, qui a perdu une bonne partie de ses mécanismes fonctionnels :

- la dynamique latérale (érosions/dépôts), largement mise à mal par les enrochements du siècle dernier, a totalement disparu ;
- les nappes phréatiques, abaissées par enfoncement du lit et dérivation, ne sont souvent plus disponibles pour la végétation ;
- les inondations ont diminué en fréquence et en durée ;

- la continuité de l'espace fluvial a été rompue par la construction de barrages (Fruget et Michelot, 1997).

Pour en savoir plus

Ardouin-Dumazet V.-E., 1898. Le flottage en Morvan. *In : Voyage en France*. Berger-Levrault et Cie.

Barrier P., 1990. *La mémoire des fleuves de France*. Christian de Bartillat Éditeur.

Braudel F., 1986. *L'Identité de la France*. Arthaud-Flammarion.

Briffaut S., 1993. Le rôle des catastrophes naturelles : cas des Pyrénées centrales. *In* Corvol A. (ed.), *La nature en Révolutions*. L'Harmattan.

Delbos G., 1989. De la nature des uns et des autres, à propos du dépeuplement des eaux marines. *In* Jollivet M., Mathieu N., *Du rural à l'environnement. La question de la nature aujourd'hui*, p. 50-63. L'Harmattan.

Desailly B., 1993. Perception et gestion du risque naturel : les ingénieurs et les crues méditerranéennes. *In* Corvol A. (ed), *La nature en révolutions*, p 41-45. L'Harmattan.

Foussard V. (coord.), 2010. Évolution morphologique d'un estuaire anthropisé, de 1800 à nos jours. Fascicule Seine aval, 2.3.

Fruget J.-F. et Michelot J.-L., 1997. Dérives écologiques et gestion du milieu fluvial rhodanien. *Revue de géographie de Lyon*, 72 (1).

Fruget J.-F. et Dessaix J., 2003. Changements environnementaux, dérives biologiques et perspectives de restauration du Rhône français après deux cents ans d'influences anthropiques. *Vertigo* 4(3) <http://vertigo.revues.org/3832> ; [doi:10.4000/vertigo.3832](https://doi.org/10.4000/vertigo.3832).

Gille B., 1954. Le moulin à eau : une révolution technique médiévale. *Techniques et civilisations*, 3: 1-15.

Girel J., 1996. La prise en compte de l'histoire pour la gestion des corridors fluviaux : les enseignements des aménagements anciens. *Revue de géographie de Lyon*, 71(4): 341-352.

Izarra, F., 1993. *Hommes et fleuves en Gaule romaine*. Éditions Errance.

Knight D. et Howard A.J., 1995. *Archeology and alluvium in the Trent Valley*. Nottingham, Trent & Peak Archeological Trust.

Lacordaire S., 1985. Les Inconnus de la Seine : Paris et les métiers de l'eau du XIII^e au XIX^e siècle. Hachette.

Collectif, 2006. *Le Rhône, un fleuve en devenir*. Maison du fleuve Rhône, éditions MdfR.

Maison du fleuve Rhône. « Pierre-Bénite, le Rhône au service de la Nation ».
http://www.pierrebenite.fr/content/download/1834/17195/file/pierrebenite_rhone.pdf (consulté le 13/11/2015).

Millard J.-F., 1778. Dissertation pour le concours de style de 1778, ENPC carton « Concours de style et concours littéraires des élèves 1778-1812 ». Cité par Antoine Picon In « Les corps des ponts et chaussées de la conquête de l'espace national à l'aménagement du territoire ».
<http://www.gsd.harvard.edu/images/content/5/3/537902/fac-pub-picon-corpsdespontsetchausseese.pdf> (consulté le 13/11/2015).

Rasse P., 2000. *Identités culturelles et communication en Europe*.
<https://communicationorganisation.revues.org/2345>.

Reynolds T., 1984. Les racines médiévales de la révolution industrielle. *Pour la science*, 83: 24-33.

Roullier J., Benoit P., Morera R., 2011. *L'eau dans les campagnes avant l'ère industrielle*. Fascicule Piren Seine, 10 (sur le web).

Thibaut M. et Vinot C., 1989. Les moulins à eau sur les cours d'eau à saumon atlantique de Bretagne. Évolution et diversification des implantations : modification de l'écosystème. *Revue de géographie de Lyon*, 64(4): 204-212.

¹⁴Usages et aménités : les usages récréatifs dans l'estuaire de la Seine. GIP Seine-Aval.

L'eau qui fait peur : les risques d'inondations

« Vivre sur les rives d'un fleuve, c'est avoir sous les yeux le spectacle permanent d'une nature physique mouvante, qu'un flux anime différemment selon les saisons.

Aujourd'hui paisible et inspirant à la rêverie, il sera peut-être demain impétueux, charriant dans ses eaux des débris de bois et de plastique indiquant que plus haut, la crue l'a fait déborder de son lit. Alors, on surveillera sa cote, on se rassemblera nombreux sur les ponts ou sur les hautes berges, on échangera sur ses crues passées et sur leurs dégâts. On commencera peut-être à se préparer au pire, on préviendra les enfants du danger qu'il y a à aller sur ses bords. Et puis, une fois l'alerte passée, une fois le courant redevenu normal, on oubliera peu à peu ce moment de colère, le fleuve revenu à son allure ordinaire, à son écoulement fluide des jours habituels, on en viendrait presque à oublier son existence. Comme un être vivant, le fleuve, par moments, se rappelle à nous. »

André Micoud (2006)*

Extraits d'un texte d'André Micoud *In Le Rhône, un fleuve en devenir*, Givors, Éditions MdfR.

La vision poétique de l'eau qui coule et murmure, celle du fleuve fertilisant la plaine d'Égypte, ou encore celle des berges, lieux de loisirs et de fête, ne doit pas masquer la peur récurrente chez les riverains de voir les flots déferler sur les habitations, emportant les biens, et parfois les hommes. C'est souvent pour les protéger des inondations que les berges ont été aménagées.

Longtemps, en effet, l'inondation a été considérée comme une fatalité, un mal à combattre. Les sociétés y voyaient la manifestation d'un dieu mécontent, qu'il fallait amadouer par des sacrifices ou des rituels, à l'exemple des nombreuses processions religieuses organisées à cet effet. Mais, progressivement, cette question a été investie par les ingénieurs, qui se sont d'abord attachés à lutter

contre l'aléa dans le but de sécuriser les villes installées près des fleuves. Porteurs d'une vision hydraulicienne des cours d'eau, ils ont essayé de limiter localement l'expansion des inondations en s'appuyant sur des ouvrages (endiguements, barrages), ou en facilitant l'évacuation des eaux vers l'aval par des rectifications du lit. (La gestion de l'aléa s'appuie sur une connaissance fine des précipitations et des débits des fleuves. Comme les crues, les pluies sont définies par leur récurrence, qui est leur période de retour.) Derrière cette démarche, il y avait évidemment la vision prométhéenne selon laquelle l'homme pouvait contrôler la nature.

De la sémantique avant toute chose

Le risque se définit généralement comme le produit d'un aléa et d'une vulnérabilité. L'aléa correspond au phénomène physique (ici découlant d'événements hydrométéorologiques) et se décrit par la probabilité d'occurrence de ce phénomène ; il est également fonction de son intensité et de sa durée dans l'espace considéré ; la vulnérabilité s'évalue en fonction des dommages que cet événement peut engendrer, que ce soit sur les populations, les biens (le bâti privé, les établissements et équipements), les activités (industrielles, commerciales, artisanales...) ou encore sur les ressources naturelles (Dauphiné, 2001). Ces dommages sont évidemment fonction de la densité des populations ou des biens, et de la manière dont les populations et les autorités gèrent l'événement. Les dommages sont les conséquences concrètes des épisodes d'inondation. Ils peuvent être directs ou indirects, voire difficilement monnayables (pertes de vies humaines, préjudices moraux, etc.).

Le risque et les aléas relèvent du probable. Les catastrophes qui résultent de la confrontation entre l'aléa et l'élément vulnérable sont des faits qui ont lieu. « Il n'y a donc jamais de concordance, ni temporelle, ni spatiale, ni en intensité, entre le risque et la catastrophe » (Dauphiné, 2001).

L'aléa inondation

Au cours de l'année, on observe une ou des périodes de hautes eaux et des périodes d'étiage. Les riverains se sont adaptés à ces changements plus ou moins saisonniers des débits des cours d'eau, tout en se méfiant, quand même, de la période de hautes eaux. On sait qu'elle peut être dangereuse, mais on vit avec ! Elle est même parfois très attendue dans les pays où l'eau est rare (ou pour le moins mal répartie dans l'année), comme dans le Sahel.

« Crue d'un cours d'eau : débit important d'eau douce, de courte durée, dans un courant d'eau, résultant d'un événement météorologique comme de fortes pluies ou la fonte rapide des neiges » (Aquaportal).

La crue est à la fois une réalité et une notion virtuelle. Les ingénieurs hydrauliciens en ont donné une définition statistique. Dans son *Hydrologie pour l'ingénieur*, l'ingénieur Réménieras (1980) la définit comme : « tout débit égal ou supérieur au débit caractéristique maximum, c'est-à-dire, en année moyenne, dépassé dix jours par an ». Les statisticiens ont analysé les longues séries de débits afin d'évaluer la récurrence des crues. On distingue ainsi la crue annuelle, qui a toutes les chances de se reproduire chaque année, de la crue « décennale » et de la crue dite « centennale ». Ce qui ne veut pas dire que la crue a lieu tous les 10 ou tous les 100 ans : il s'agit seulement de la probabilité qu'elle survienne sur une période de 10 ou 100 ans.

Dans ce contexte, l'inondation n'est pas la crue. Toutes les crues ne sont pas à l'origine d'inondations : il y a inondation lorsque les eaux sortent du lit mineur de la rivière lors d'une crue. Par exemple, dans la Charente, la crue décennale ne sort pas du lit.

La Seine et les risques d'inondation

Les inondations de la Seine font partie de l'histoire du fleuve. Les archives dénombrent une soixantaine de crues majeures depuis le ^{vi}e siècle, où une inondation désastreuse fut mentionnée dans les chroniques de février 584. Mais celles des années 1650, 1658, 1740, 1810, 1850 et 1876 ont également marqué les esprits. La crue exceptionnelle de janvier 1910 (cote 8,5 m ; figure 10.1) est la référence historique actuellement utilisée pour appréhender le risque inondation en Île-de-France. D'autres événements importants ont eu lieu en 1924 et en 1955. Mais, depuis presque soixante ans, il n'y a eu aucune crue majeure, de telle sorte que la mémoire du risque s'est sensiblement atténuée. Pourtant, l'Allemagne et l'Europe centrale ont connu en 2013 des inondations qui ont dépassé les niveaux théoriques des crues centennales. Et, en 2010, les inondations du Var ont aussi été dramatiques.

Une étude récente de l'OCDE (2014) fait le constat que l'urbanisation croissante de l'Île-de-France a considérablement accru la vulnérabilité. Si les protections se sont renforcées depuis la crue de 1910 (barrages en amont, aménagement du fleuve), les investissements majeurs ont été modestes au cours des dernières décennies et ne sont pas suffisants pour mettre la capitale à l'abri d'une crue majeure qui pourrait impacter près de cinq millions de citoyens et de nombreuses entreprises, entraînant de profondes perturbations au niveau des infrastructures et des réseaux (transport, électricité, eau, communications). Compte tenu de la configuration hydrologique du

bassin, les effets pourraient se faire sentir sur plus de trois mois. Les dommages directs ont été évalués entre 3 et 30 milliards d'euros, mais l'événement aurait surtout un impact significatif au niveau macroéconomique et sur l'emploi (jusqu'à 400 000 personnes concernées dans le cas extrême).

L'OCDE déplore une gouvernance beaucoup trop éclatée du risque inondation en Île-de-France et l'absence de vision stratégique d'ensemble.



Figure 10.1 La crue de janvier 1910 est la deuxième plus importante de l'histoire de la Seine après celle de 1658.

La Seine a atteint le niveau de 8,62 mètres sur l'échelle du pont d'Austerlitz, et le zouave du pont de l'Alma était noyé jusqu'aux épaules. Cette crue, résultat d'épisodes pluvieux et neigeux importants, a été progressive et s'est étalée pendant une dizaine de jours. Durant cette période, Paris a été plongé dans l'obscurité et privé d'eau potable et de réseau de transports. Cette crue exceptionnelle n'a fait qu'une seule victime, qui s'est noyée lorsqu'une barque s'est renversée. Mais il y aurait eu 200 000 sinistrés. Le montant des dégâts a été estimé entre 1 et 2 milliards d'euros...

L'inondation est l'un des risques naturels majeurs qui concernent le plus grand nombre de communes. Selon le Medde, 10 % de la population et une commune sur deux sont exposés au risque inondation en France métropolitaine. Quelque 5 millions de personnes résident en zone inondable, soit 8 % de la population française. Dans 12 départements, c'est plus de 20 % de la population qui vit en zone inondable. Les départements les plus exposés sont le Rhône, les Alpes-Maritimes, le Var, le Gard, l'Isère et la ville de Paris.

Certains croient constater une augmentation de la fréquence des précipitations exceptionnelles menant à des inondations. Le réassureur Munich Re a recensé 949 désastres naturels en 2010 contre une moyenne annuelle de 785 depuis l'an 2000 et de 615 sur les trente dernières années (*Le Monde*, 18 janvier 2011). Plusieurs explications sont avancées pour rendre compte de l'augmentation de la fréquence et de l'intensité de ces désordres. Ainsi, la variabilité climatique pourrait amplifier les situations extrêmes. Chacun s'accorde néanmoins à reconnaître que cette situation tient surtout à des facteurs humains : construction de plus en plus fréquente en zone inondable, insuffisance des systèmes de prévision et d'alerte, absence de volonté politique d'investir dans la prévention des catastrophes.

Aux origines des inondations

Les inondations résultent souvent des crues des cours d'eau à la suite de pluies importantes (en termes d'intensité, de durée, de cumul et/ou d'extension spatiale) ou à la fonte des neiges. D'autres types d'inondations, souvent plus localisées, sont les conséquences de la remontée de nappes phréatiques ou, dans les zones côtières, sont liés aux coefficients de marée plus hauts que la moyenne, associés aux surcotes dues aux tempêtes, comme ce fut le cas pour la tempête Xynthia en 2010.

Les événements pluvieux de forte intensité sont la cause principale des crues torrentielles en France métropolitaine. Un cas bien connu est celui des épisodes cévenols qui se forment lorsque le vent chaud

et humide provenant de la Méditerranée se dirige vers le nord et vient buter contre le massif des Cévennes, où il entre en contact avec de l'air froid présent en altitude. L'atmosphère devient alors très instable et orageuse, favorisant la formation de nuages chargés de pluie, qui sont bloqués par la montagne et se reforment en permanence, déversant des quantités d'eau considérables sur une zone très réduite. Ce type de pluies est fréquent sur l'arc méditerranéen. Le 22 septembre 1992, durant les inondations de Vaison-la-Romaine, le débit de l'Ouvèze, affluent du Rhône, passa ainsi de quelques mètres cubes par seconde à 1 000 m³/s en quelques heures, transformant la rivière en un torrent meurtrier (37 morts), après des pluies qui ont pu atteindre 300 mm en quatre heures, en certains endroits. En 1890, lors d'une crue dévastatrice, le débit de l'Ardèche passa de quelques mètres cubes par seconde à 6 000 m³/s et fit monter l'eau de 21 m au pont d'Arc.

Les crues cévenoles

Les trombes d'eau qui se sont abattues sur la ville de Draguignan le 15 juin 2010, la dévastant en quelques heures, sont une bonne illustration de ce que les météorologues appellent un « épisode cévenol ». La situation météorologique dans cette région du Var est classique, mais inhabituelle en cette saison, avec des précipitations qui ont culminé à près de 400 mm dans la commune des Arcs-sur-Argens. Il en est résulté, de manière concomitante, une crue exceptionnelle de la Nartuby, générant une vague de trois à quatre mètres de hauteur, ainsi que la création d'un torrent de boue en provenance de la montagne du Malmont, qui a traversé la ville de Draguignan du nord au sud, charriant de très gros rochers. Les eaux déchaînées se sont déversées dans la rivière Argens avant d'atteindre la mer en dévastant partiellement la commune de Fréjus. Ces crues ont suscité de très gros dégâts matériels et fait 26 morts et disparus.

Si les événements climatiques sont difficilement prévisibles à moyen terme, on peut cependant s'interroger sur les causes des dégâts occasionnés par les crues torrentielles, et rechercher ainsi les responsabilités. Pour l'Ouvèze en 1992, on peut invoquer le changement d'affectation des terres depuis quelques décennies^[15] :

- abandon des plantations d'oliviers qui protégeaient relativement bien le sol contre le ruissellement, au profit de la vigne qui a pris une extension considérable depuis un demi-siècle, ainsi que des cultures de lavande, qui ne protègent pas correctement les sols contre le ruissellement ;

- augmentation de la taille moyenne des parcelles à la suite du remembrement, qui a entraîné la suppression des haies ;
- augmentation des surfaces imperméables par extension des surfaces construites, des routes, des travaux d'urbanisme ;
- resserrement du lit mineur de la rivière par la mise en place de berges bétonnées raccourcissant les temps de transit mais augmentant la vitesse de propagation des crues.

Au-delà de ces causes physiques, on a évidemment évoqué le manque d'entretien des cours d'eau et la conception de certains ouvrages. Néanmoins, l'urbanisation de zones à risques telles que le lit majeur des cours d'eau, que ce soit pour l'habitat, les loisirs ou l'industrie, reste une des principales raisons de ces catastrophes.

Une crue de type « flash flood » : le cas de Nîmes

Le 3 octobre 1988, il pleut abondamment sur les hauteurs de Nîmes. Les 300 mm d'eau qui tombent en quelques heures sont mal absorbés par le sol, en partie imperméabilisé. Les eaux dévalent rapidement les pentes urbanisées et se concentrent dans les cadereaux, qui sont des ravins en pente, sans eau, fonctionnant de manière intermittente en cas de fortes pluies, mais en partie modifiés par l'urbanisation. En particulier, ils ont été busés sous la ville et dimensionnés seulement pour un débit de $30 \text{ m}^3/\text{s}$, alors que les débits atteignent $200 \text{ m}^3/\text{s}$. Le réseau urbain, de capacité réduite, éclate et l'eau déferle partout, noyant le centre-ville sous plusieurs mètres d'eau. Les conséquences sont considérables : 11 morts, 45 000 sinistrés, 4 milliards de francs de dégâts.

Différentes solutions ont été envisagées pour éviter le retour de telles catastrophes : construire des barrages en amont, assurer le transit par les cadereaux, canaliser les eaux de ruissellement par des tunnels contournant la ville. Si divers aménagements ont été réalisés, aucune de ces mesures n'a été prise étant donné leur coût. Reste à attendre la prochaine pluie torrentielle pour savoir si les aménagements ont été suffisants. Paradoxalement, des lotissements ont été édifiés dans la zone inondable en 1993...

Des pluies remarquables par leur durée et leur extension spatiale peuvent également être à l'origine de crues dommageables. En 2001, la vallée de la Somme a été inondée pendant près de trois mois, entre la mi-mars et la fin mai à la suite d'une séquence pluvieuse caractérisée par des apports deux fois plus importants, par rapport à la moyenne saisonnière, sur l'ensemble du bassin. La situation de crise, en s'éternisant, alimenta les rumeurs (Framery, 2003). L'une

d'elles parlait d'un complot fomenté à Paris qui consistait à détourner les eaux de l'Oise vers la Somme, afin d'éviter l'inondation de la capitale. Cette rumeur, qui sera appelée la « rumeur d'Abbeville », fut largement relayée par les médias, dont *Le Courrier picard*, le quotidien régional. Déjà en 1880, les riverains de la Somme accusaient les lachûres du canal de Saint-Quentin d'être à l'origine de l'inondation de leurs terres (Cartier, 2004). Les causes en sont les mêmes : défaut d'entretien des cours d'eau, pluies excessives, caractéristiques du sol.

Les débâcles et fontes des neiges peuvent provoquer occasionnellement des inondations. Lors du dégel des cours d'eau, des blocs de glace peuvent s'accumuler au niveau d'obstacles tels que les ponts ou des embâcles, et provoquer des inondations dans les plaines avoisinantes. Garnier (2010) s'est penché sur les vieux grimoires. Pour les 600 dernières années il a pu recenser 62 inondations de la Seine dans Paris et sa périphérie. C'est le ^{xvii}^e siècle qui arrive en tête avec 18 débordements. Un siècle qui s'inscrit dans le Petit Âge glaciaire, avec des hivers très neigeux. Dans 45 % des cas, la brusque montée des eaux est imputable à des débâcles faisant suite à de grands froids et à d'abondantes précipitations neigeuses. Mais le siècle des Lumières fut aussi celui des caprices du fleuve, avec 14 événements. Jusqu'au milieu du ^{xix}^e siècle, les ponts et les ouvrages hydrauliques de type moulin étaient autant de verrous hydrographiques à l'origine d'une grande vulnérabilité. Les images de la Seine gelée sont devenues anecdotiques de nos jours. Désormais, les inondations de grande ampleur résultent davantage de pluies intenses et persistantes en hiver, lorsque les sols sont saturés d'eau. Leur nature a donc changé.

Les réponses techniques

Pendant longtemps, l'inondation a été considérée comme un mal à combattre afin d'occuper et de valoriser les vallées inondables. Selon la perception hydraulicienne des fleuves, il s'agissait de limiter l'expansion spatiale des inondations en s'appuyant sur des ouvrages

(endiguements, barrages) et d'évacuer le plus rapidement possible les eaux vers l'aval par des rectifications du lit. L'aménagement de la Loire dès le XIII^e siècle fait figure de pionnier en matière de protection de la plaine alluviale. La physionomie de ce « dernier fleuve sauvage d'Europe » est en réalité le résultat de plusieurs siècles de travaux. Les turcies, premiers ouvrages de protection connus, font leur apparition avant le X^e siècle. Ce sont des petites digues discontinues qui ont pour objectif de freiner le courant de débordement dans les points les plus bas. Par la suite, les propriétaires terriens construisirent des levées continues pour protéger leurs domaines dans le lit majeur. À cette époque les crues pouvaient encore s'étendre librement dans une grande partie de la vallée, de telle sorte que la ligne d'eau était beaucoup moins élevée qu'aujourd'hui. Cette situation se pérennisa jusqu'au XVI^e siècle, quand des crues de grandes ampleurs provoquèrent des ruptures de digues que l'on compensa par un léger exhaussement.

Au XVII^e siècle, avec l'essor de la navigation, le processus d'endiguement s'amplifia ce qui augmenta considérablement les probabilités de ruptures de levées. La crue de 1790 ayant suscité la création de brèches dans de nombreuses digues, les levées furent encore renforcées et surélevées de 60 cm à l'instigation des ingénieurs des Ponts et chaussées. Elles résistèrent à la crue de 1825, mais la crue exceptionnelle de 1856 ouvrit 160 brèches d'une longueur totale de 23 km, et 100 000 ha furent inondés. La crue tout aussi exceptionnelle de 1866 confirma qu'il était vain de poursuivre dans la voie de surélévation des levées. On mit alors en place des digues « fusibles », permettant de déverser les excédents des crues vers les secteurs peu peuplés de la plaine alluviale.

La crue de 1907 fut la dernière manifestation inquiétante du fleuve. La Loire n'a plus connu d'inondations catastrophiques depuis, et l'eau a été contenue entre les digues remises en état après 1867. Cette longue période sans crue majeure a favorisé l'oubli du risque par les riverains et l'administration. Pourtant, une crue similaire ou pire que celle de 1866 peut se reproduire, alors que l'urbanisation s'est

développée sur les terres inondables et que des dizaines de milliers d'habitants vivent sous le niveau des crues centennales.

Sur la Loire moyenne : 5 personnes sur 10 choisissent leur logement en zone inondable en connaissance de cause (Ifen, 2008).

Dans le secteur de la Loire moyenne, 50 % des personnes interrogées déclarent avoir été informées du caractère inondable de leur logement au moment de leur installation. La connaissance du risque est plus forte dans les communes totalement inondables, où 55 % des personnes se sont néanmoins installées en connaissance de cause. Ce comportement peut être motivé par la proximité des services et la qualité du logement, le prix de l'immobilier et la qualité de l'environnement qui est presque aussi importante que la qualité de l'immobilier.

Une autre manière de lutter contre les inondations est de retenir les eaux en amont. En 1910, la répétition de très grosses averses satura le bassin parisien et les crues synchrones des affluents de la Seine confluèrent vers Paris. L'inondation de 1910 est toujours dans les mémoires, à cause de son ampleur, mais aussi de la médiatisation sans précédent dont elle a été l'objet. Un important programme d'aménagement du bassin de la Seine en amont de Paris a été entrepris pour assurer la sécurité de la capitale. Plusieurs barrages-réservoirs ont été construits et agrandis afin de limiter les inondations en retenant une partie du débit des rivières en crue (« écrêtement des crues »). Inversement, en période d'étiage, les lacs-réservoirs restituent aux rivières l'eau prélevée pendant les périodes pluvieuses : c'est le « soutien d'étiage ». Des projets similaires avaient été élaborés pour la Loire. Ils furent stoppés par Brice Lalonde au nom de la protection de l'environnement.

Paris est-il pour autant à l'abri d'une crue similaire à celle de 1910 ? Les experts sont formels : il est probable que les conditions de 1910 se reproduiront, mais on ne sait pas quand. « C'est une certitude, dont seule la date est inconnue », selon Pascal Popelin, président des Grands lacs de la Seine et auteur du *Jour où l'eau reviendra*. En effet, les barrages-réservoirs diminueraient de 60-70 cm seulement la

hauteur d'eau à Paris dans le cas d'une crue de type 1910. À comparer aux 8,6 m atteints à cette époque. Mais les conséquences pourraient être plus dramatiques, du fait de l'imperméabilisation des terrains et de notre plus grande dépendance au téléphone, à l'eau courante, à l'électricité, aux transports urbains, etc. Selon l'Institution interdépartementale des barrages-réservoirs du bassin de la Seine (IIBRBS), l'ensemble des réseaux serait touché, ce qui paralyserait la vie économique de la capitale pendant des mois. Le coût des dégâts dépasserait les 10 milliards d'euros.

On peut également envisager de gérer les inondations en se fixant des objectifs raisonnables de réduction de l'aléa, tout en diminuant la vulnérabilité aux inondations. Le concept de ralentissement dynamique auquel Guy Oberlin (Cemagref, maintenant Irstea) a beaucoup réfléchi, a été proposé en 1992 dans le cadre du Programme hydrologique international de l'Unesco, comme une alternative à la course aux aménagements lourds. Il vise à substituer aux barrages-réservoirs et aux digues un nombre important de petits bassins dits de surstockage ou d'épandage des crues tout au long du cours d'eau, afin de stocker une partie du volume des crues, en amont des zones urbanisées, partout où cela est possible. Ces bassins permettront de réduire le débit de pointe et de retarder l'écoulement en aval, tout en restaurant les aspects bénéfiques de la submersion temporaire de la plaine alluviale (Poulard *et al.*, 2008).

Cette démarche est une réponse à la DCE et à la restauration des cours d'eau dans la mesure où l'on rétablit certaines connectivités latérales favorables à la faune et à la flore. En bref, il s'agit de ralentir les crues sur toute la surface du bassin versant, par des aménagements diffus à l'échelle de la parcelle (haies, fossés, implantation de bandes riveraines boisées, pratiques culturales sans labours, etc.), ainsi que dans l'axe hydraulique (recul ou ouverture des endiguements de protection des zones non urbaines, zones de stockage, etc.). Depuis 2004, divers projets ont vu le jour dans l'Hexagone. Ils sont confrontés à deux problèmes majeurs. D'une part, l'accès au foncier pour dégager des zones d'épandage sur des territoires fortement urbanisés ou industrialisés. D'autre part, la

réticence des citoyens, inquiets que la remise en eau de certaines zones menace leurs biens.

La culture du risque inondation

La gestion du risque d'inondation consiste à jouer sur deux volets : l'aléa par des travaux hydrauliques, et la vulnérabilité en modifiant le niveau des impacts attendus par des mesures non structurelles : relocalisations, protections amovibles, plan de gestion des crises, informations, etc.

Des années 1950 aux années 1980, la gestion du risque inondation se résumait plus ou moins à la gestion de l'aléa en luttant contre les inondations par des réponses techniques : constructions de barrages, de digues, de bassins de rétention. Mais, à partir des années 1990, les solutions techniques ayant atteint leurs limites (impact écologique sur les cours d'eau et coût économique trop important supporté par la société), on a recherché d'autres moyens de réduire le risque tout en prenant mieux en compte la vulnérabilité. En effet, il apparaît que l'État ne peut plus garantir la protection complète contre l'aléa, et les coûts des réparations sont devenus très élevés. Les services de l'État et les autorités locales s'orientent donc vers une meilleure gestion de la vulnérabilité.

Les principales actions s'articulent autour de la sensibilisation, de l'éducation, de la prévention, et de l'adaptation du bâti (Langumier, 2008). Néanmoins, une telle démarche fait apparaître l'existence de freins :

- la « culture du visible » : les collectivités préfèrent gérer la construction d'ouvrages que de financer des opérations de sensibilisation, jugées trop peu visibles. En d'autres termes, on préfère couper des rubans... ;
- réduire la vulnérabilité fait remonter des dysfonctionnements internes de nos sociétés. Stigmatiser l'attribution de permis de construire dans des zones inondables, ça dérange un peu... Dans un contexte de pénurie budgétaire, la culture du risque et la mémoire des inondations deviennent très vite les parents

pauvres des politiques de prévention. On en parle beaucoup, mais on agit peu... ;

- et puis il y a la « perte de mémoire » inhérente aux catastrophes naturelles. L'oubli des catastrophes passées est le talon d'Achille de la culture du risque. Quand survient une importante catastrophe naturelle, telle qu'une inondation, l'émotion l'emporte bien souvent. On recherche les coupables, on s'interroge sur les erreurs qui ont pu être faites, et on se promet de tout mettre en œuvre pour ne plus voir ça. L'État promet indemnisations, grands travaux pour assurer la sécurité... Mais quelques années plus tard, lorsqu'il s'agit de mettre en œuvre des plans de protection, la délimitation des périmètres de zones inondables est souvent l'objet d'intérêts privés, notamment immobiliers, dont l'enjeu économique fait curieusement oublier tout souvenir de crues décennales ou centennales dévastatrices.

La lutte contre les inondations n'a pourtant pas laissé les services de l'État indifférents, d'autant que la réglementation européenne nous y incite fortement. Il est même difficile pour un non-spécialiste de se retrouver dans le maquis des lois votées ou en projet.

La directive européenne de 2007 relative à l'évaluation et à la gestion des risques d'inondation incite à établir un cadre pour l'évaluation et la gestion des risques d'inondation, afin de réduire les conséquences négatives pour la santé humaine, l'environnement, le patrimoine culturel et l'activité économique. Sa transcription en droit national en 2011 se traduit par de nouveaux outils destinés à améliorer la connaissance et la gestion de ce risque (cartes, identification de territoires à risques, stratégie nationale, stratégies locales).

Les plans de prévention des risques inondation (PPRI) sont un des outils majeurs de la gestion des risques au niveau local. En connaissance des zones d'aléas, ils définissent les modalités de construction, y compris éventuellement l'interdiction de construire. Les personnes résidant dans des communes dotées d'un PPRI ont plus conscience d'être exposées au risque que celles vivant dans des communes qui en sont dépourvues.

Le plan de gestion des risques d'inondation (PRGI) constitue un nouvel outil de gestion des risques inondation. Ce plan doit être élaboré par le préfet coordinateur de bassin pour chaque bassin ou groupement de bassin, en associant les parties prenantes. Le PRGI doit être approuvé avant le 22 décembre 2015, afin de respecter le délai imposé par la directive sur les inondations.

Perception des inondations en Camargue : de la fatalité à l'État-providence

La recherche de sécurité des biens et des personnes paraît aller de soi et ne dépendre que des techniques de protection plus ou moins efficaces... ou de l'inconscience des usagers (Allard et Pailhes, 1999). Ainsi, sous l'Ancien Régime, la perception de sécurité résidait dans la confiance en Dieu. Selon Jacques Theys, la société européenne serait passée de la notion de risque perçue comme une fatalité divine, à celle d'un risque maîtrisé. La gestion du risque d'inondation en Camargue illustre bien les changements de perception du risque et de la vulnérabilité en fonction des changements sociaux et économiques de cet anthroposystème (Picon *et al.*, 2006).

En Camargue, les activités de chasse, de pêche, d'élevage, d'agriculture ou de transport se sont longtemps accommodées d'inondations fréquentes. Les mas étaient construits sur les bourrelets alluviaux, les surfaces cultivées se trouvaient principalement sur les terrains les plus hauts, tandis que les apports fréquents du Rhône contribuaient à la richesse des terres et des cultures. La gestion du risque d'inondation se faisait donc en grande partie par l'adaptation de la vulnérabilité, par des pratiques individuelles adaptées au risque qui se traduisaient par le choix d'un type d'habitat et d'activités agricoles susceptibles de supporter des inondations saisonnières. Lorsque les caractéristiques de l'aléa changeaient, il fallait changer également la gestion de la vulnérabilité mise en place pour un certain niveau de risque.

Sous l'Ancien Régime, on croyait que l'intervention divine était la seule responsable des inondations. Celles qui sont particulièrement destructrices sont assimilées à des fléaux et à des châtiments divins. On calcule la hauteur des digues en fonction des plus hautes crues connues, de manière à assurer la meilleure protection possible, mais Dieu reste maître du jeu. La protection ultime demeure la vertu chrétienne, pour la prévention, et l'acte de contrition lorsqu'un fléau s'abat sur la société (Allard et Pailhes, 1999). La réponse se concrétise le plus souvent par l'organisation de processions. Et lors de crues exceptionnelles qui détruisent les récoltes, le roi octroie généralement des secours aux habitants.

Au moment de la Révolution, on observe un changement dans la conception du risque et son interprétation. La sécurité devient une affaire d'État. Il faut remédier aux dérèglements par une action volontariste et dominatrice de l'homme sur la nature. La volonté de corriger les défauts de la nature imprègne la pensée politique. L'inondation catastrophique de 1790 à Arles va ainsi entraîner une vive polémique entre ceux qui portent cette nouvelle vision du risque et les autorités religieuses, qui dénoncent les démagogues, punis par Dieu pour avoir souillé la terre (le doigt de Dieu). C'est maintenant la loi qui tend à organiser les défenses collectives sous l'égide de l'État, garant de l'intérêt collectif. Mais il manque pour cela une science prédictive qui permettrait de se prémunir non seulement contre les dangers connus mais aussi contre les dangers potentiels. On continue à construire les digues en Camargue en tenant compte des hauteurs d'eau atteintes lors des crues précédentes, mais ces digues ne résisteront pas aux crues des années 1840...

La vulnérabilité de l'appareil productif évolue également dans le temps en fonction des pratiques agricoles et des contraintes du marché. Au début du XIX^e siècle, de grands projets agricoles voient le jour (Picon, 1978) et le delta du Rhône devient une terre de conquête. La protection assurée par les digues n'est donc plus suffisante et il manque une protection préventive suffisamment efficace pour rassurer les investisseurs. La gestion du risque devient alors l'objet d'arbitrages compliqués entre des intérêts généralement contradictoires (Picon *et al.*, 2006). Le déclencheur sera la dernière

grande crue du Rhône, en mai 1856, qui provoque des dégâts considérables aux cultures céréalières. Elle est particulièrement dramatique et l'empereur lui-même vient constater les désastres. Très vite, les ingénieurs entreprennent la construction de la digue à la mer et le rehaussement des digues existantes. Entre 1869 et 1993, le delta n'a plus connu d'inondations massives et les exploitations agricoles ont pu se développer à l'abri des digues. La contrepartie a certainement été un sentiment de sécurité et l'oubli progressif de la maîtrise de la vulnérabilité ainsi qu'une moindre motivation pour assurer l'entretien des digues, dont le coût pouvait paraître d'autant plus élevé que le danger s'éloignait avec le temps...

Les inondations de 1993 et 1994 en Camargue ont remis à l'ordre du jour la vulnérabilité de l'habitat et de l'appareil de production. Si les journalistes du XIX^e siècle parlaient surtout du malheur des inondés, ceux du XX^e siècle parlent de la colère des sinistrés. Ceux de 1856 subissaient l'événement, en parlant surtout de désastre et de fléau. Ceux de 1993 parlent de catastrophe et mettent en cause la gestion du risque, exigeant protection et sécurité de la part de l'État-providence... Avec le relais des médias, on se met en quête d'un responsable pour des questions d'indemnisation. On identifie bien vite les propriétaires fonciers et le syndicat de gestion des chaussées de Grande Camargue, à qui on reproche leur négligence et leur réticence à financer l'entretien des digues. Les propriétaires, et tout particulièrement les riziculteurs, sont également accusés d'avoir percé les digues pour développer leur système d'irrigation.

En réponse à ces accusations, les propriétaires fonciers cherchent les responsables au sein du monde animal. Les ragondins, les blaireaux, les renards et autres animaux fouisseurs sont accusés de détériorer les digues en y creusant leurs terriers. Mais ce type d'accusation n'est pas une explication suffisante pour le comité des sinistrés. On n'a pas osé, comme au Moyen Âge, traduire les animaux devant les tribunaux ! En réalité, ce qui arrange tout le monde, c'est le statut de catastrophe naturelle. Les sinistrés peuvent bénéficier du remboursement par leur assurance (indemnisation des

dommages) et les gestionnaires des digues n'ont pas à verser d'indemnisations...

Il est vrai aussi que, depuis l'après-guerre, la fréquentation touristique de la Camargue s'est fortement développée, drainant chaque année des milliers de visiteurs profitant de la protection offerte par les digues du Rhône. Le président de l'association des propriétaires fonciers proches du Vaccarès argumente ainsi : « Ce qu'il faut voir, c'est que ces digues ont été faites à la charge des propriétaires et des exploitants du sol, c'est-à-dire le monde agricole et paysan. Ce n'est plus du tout comme autrefois, maintenant. Maintenant, il y a toutes sortes de commerces, même d'industries, la compagnie des Salins du Midi c'est énorme, etc. [...] Et moi, je prétends que les digues sont devenues des ouvrages de protection civile. Les digues, c'était à l'origine pour protéger les exploitations agricoles et la propriété. Mais maintenant, c'est une sorte de protection civile, pour protéger des choses qui n'ont rien à voir avec l'agriculture^[16]. » Bref, la gestion des digues ne devrait plus relever des seuls propriétaires qu'elles protègent mais des pouvoirs publics ! Au final, c'est l'État qui paie, donc les citoyens... Dès lors, c'est la puissance publique qui va prendre en charge les travaux de réparation, opérations de rehaussement, missions d'entretien et de surveillance, via la création, en 1996, d'un syndicat mixte, le Symadrem.

Les digues, oubliées depuis 1869, ont ainsi rappelé aux Camarguais qu'ils vivaient dans un polder fragilisé par le défaut d'entretien des digues par un monde agricole qui n'était plus le seul opérateur économique du delta. « Les médias n'en ont plus parlé comme d'un espace naturel menacé par l'homme, mais comme d'un espace humain menacé par des risques naturels... Ces brèches ont aussi été une brèche dans un système social assez inégalitaire, hérité du XIX^e siècle. Cela a réactivé une symbolique de lutte des classes : les "petits" ont été noyés par les "gros" », disait à l'époque le sociologue Bernard Picon.

En 2002 et 2003, quand le débit du Rhône dépasse cette fois les 10 000 m³/s, la Camargue reste ainsi à l'abri derrière ses murs. Mais les flots se déversent en amont, au nord d'Arles, et sur la rive droite,

côté gardois. Le montant des dégâts est estimé à 1 milliard d'euros et une nouvelle étape est franchie. « On a compris qu'il fallait prendre la gestion du fleuve dans son ensemble et que la nature se moque des découpages territoriaux. » « On est aussi sortis d'une vision selon laquelle l'homme est maître de la nature et il suffit de faire des digues pour être tranquille^[17]. »

L'État et les collectivités concernées ont lancé un « plan Rhône », pour aborder le problème de manière globale sur toute la longueur du cours d'eau. Les règles d'urbanisme ont également interdit des constructions trop exposées. « Mais on sait qu'on n'est pas à l'abri à 100 % », dit l'un des représentants des riverains. C'est d'autant plus vrai que la Camargue est à nouveau inondée en 2009. Cette fois, le Rhône n'y était pour rien : un excès de pluie n'a pas pu être évacué en raison d'un trop haut niveau de la mer...

Les espaces forestiers jouent-ils un rôle dans l'atténuation des crues ?

On évoque souvent le déboisement pour expliquer des crues catastrophiques. La forêt apparaît en effet comme un espace naturel auquel on attribue un rôle bénéfique dans la régulation du cycle de l'eau, en comparaison avec les zones agricoles et les milieux artificialisés qui accélèrent les flux d'eau. De fait, la grande surface foliaire a tendance à augmenter l'interception et l'évaporation des eaux de pluies. Lors des averses, la forêt peut ainsi stocker 10 à 15 mm d'eau. De même, le fort développement racinaire tend à mobiliser de grandes quantités d'eau dans le sol. L'effet réducteur de crues est particulièrement marqué pour les bassins versants possédant des sols peu profonds et peu perméables, laissés à nu. Par contre, même en l'absence de végétation, les sols profonds et filtrants ont un comportement comparable aux sols forestiers (Lavabre et Andréassian, 2000). Quant aux forêts alluviales, leur rôle est bien établi dans la mesure où elles constituent un champ d'expansion des crues qui ralentit le courant et assure le stockage d'un volume d'eau qui contribue à écrêter les débits de pointe.

Le rôle de la forêt comme modérateur et réducteur des pointes de crues, largement populaire dans l'opinion, est cependant discuté par les scientifiques. Le rôle des forêts de versant dans la protection contre les crues est indéniable pour les crues de fréquence courante. Mais tous les spécialistes s'accordent à dire que le couvert végétal n'a que peu d'importance pour les événements pluviométriques importants.

On a souvent dit que la forêt agit comme une éponge, retenant l'eau de pluie qu'elle restitue ensuite lentement. Cette image d'Épinal n'est pas toujours vérifiée. Car l'eau du sol est mobilisée pour la transpiration, de telle sorte qu'en fonction des spécificités locales, la forêt de versant joue un rôle variable dans la restitution de l'eau. Quant aux forêts alluviales, elles puisent leur eau dans la nappe et réduisent d'autant les écoulements en période d'étiage.

Alors, à la question « la déforestation a-t-elle un impact sur les crues ? », la réponse n'est pas unique et les chercheurs ont parfois tendance à faire une réponse de Normand... Potentiellement, les forêts ont tendance à réduire les crues par une réduction des volumes écoulés et par un ralentissement des temps de transit des eaux sur le bassin versant. Mais ce phénomène peut aussi être observé avec d'autres modes d'occupation de l'espace : landes, prairies... qui jouent un rôle plus ou moins comparable. On ne doit pas oublier non plus que, dans les petits cours d'eau, la chute des troncs dans le lit ou les souches accumulées au cours du temps peuvent provoquer des embâcles formant des obstacles sur des barrages, des ponts ou des seuils. La fréquence de ces embâcles s'est accrue au cours des dernières décennies dans la mesure où les cours d'eau ne sont plus entretenus, du fait des mutations socio-économiques. Mais les inondations locales résultant de ces embâcles à l'amont vont avoir aussi un effet bénéfique sur l'atténuation de la crue en aval. Les bois flottants emportés peuvent, quant à eux, contribuer à l'érosion des berges et s'encaster sous un pont, entravant l'écoulement des eaux, contribuant à l'inondation.... On le voit, rien n'est simple dans la démarche systémique !

Pour en savoir plus

El Abida H., 2010. Le Risque inondation. Conditions de déclenchement et perspectives. Fascicule Seine-Aval 2-6.

Allard P. et Pailhes S., 1999. L'évolution de la notion de risque naturel. Le cas de la Camargue au xvii^e et au xix^e siècle. *In* Aspe C. et Point P. (eds), *L'eau en représentation*, p. 43-52. Cemagref Éditions.

Cartier L., 2004. Intempéries et inondations au xix^e siècle dans la Somme. <http://l.cartier.free.fr/files/MemoireCataNatSomme19.pdf> 

Dauphiné A., 2001. *Risques et catastrophes*. A. Colin.

Framery D., 2003. Les inondations de la Somme en 2001 : enjeux de pouvoirs dans un contexte de décentralisation. *Hérodote*, n° 110: 29-46.

Garnier E., 2010. Les dérangements du temps. 500 ans de chaud et de froid en Europe. Plon, 245 p.

Institut français de l'environnement, janv.-fév. 2008. Les Français clairvoyants sur leur exposition au risque d'inondation. *Opinion*, n°123.

Langumier J., 2008. Survivre à l'inondation. Pour une ethnologie de la catastrophe. Lyon, ENS Éditions.

Lavabre J. et Andréassian A., 2000. *La forêt, un outil de gestion des eaux ?* Cemagref Éditions.

OCDE, 2014. Étude sur la gestion des risques d'inondation : la Seine en Île-de-France. Éditions OCDE.

Picon B., 1978. *L'espace et le temps en Camargue*. Le Paradou/Actes Sud.

Picon B., Allard P., Claeys-Mekdade C. et Killian S., 2006. Gestion du risque inondation et changement social dans le delta du Rhône. Les catastrophes de 1856 et 1993-1994. Quae, 122 p.

Poulard C., Chastan B., Royet P., Degoutte G., Grelot F., Erdlenbruch K. et Nedelec, 2008. *Prévention des inondations par ralentissement dynamique : principe et recommandations*. Cemagref.

Rapport du groupe Eau de l'Académie d'agriculture de France, 2013 :

Réménieras G., 1980. *L'hydrologie de l'ingénieur*. Eyrolles, 2^e édition.

¹⁵http://www.cnrs.fr/cw/dossiers/dosclim1/biblio/pigb16/03_crues.htm (consulté le 23/11/2015).

¹⁶Cité par Picon et Allard, Gestion du risque inondation et changement social dans le delta du Rhône. Les catastrophes de 1856 et 1993-1994, éditions Quæ.

¹⁷Journal *La Croix* du 13 février 2011.

De la fragmentation des rivières à la reconquête de l'axe fluvial

La construction de barrages a constitué l'un des principaux aménagements des cours d'eau. La rivière, vive et courante, devient alors un système fragmenté, compartimenté, au régime en grande partie contrôlé par les usages de l'eau. Certains cours d'eau sont ainsi devenus un chapelet de biefs aménagés, à l'exemple du bas Rhône, dont le fonctionnement est bien différent de celui d'un milieu naturel. C'est ce que la DCE qualifie pudiquement de « masses d'eau fortement modifiées » !

L'analyse des conséquences environnementales des barrages nécessite une démarche de nature systémique qui n'avait pas été adoptée à l'origine. Car la construction des barrages répondait avant tout à des préoccupations de nature sectorielle : il fallait des barrages pour l'agriculture irriguée, ou pour la production électrique. C'est seulement par la suite que l'on a pris conscience des diverses conséquences des barrages sur le fonctionnement des cours d'eau et des systèmes annexes, ainsi que sur les autres usages de l'eau par les sociétés riveraines. Qualifier ces conséquences de positives ou de négatives, comme on le fait fréquemment, relève d'un jugement de valeur. Les systèmes d'eau courante, mêmes modifiés, continuent de fonctionner, mais de manière différente.

Des barrages à n'en plus finir ?

Depuis des siècles, on construit des barrages pour irriguer les champs, maîtriser les crues, faciliter la navigation, produire de l'énergie hydraulique, assurer l'approvisionnement en eau potable. Il faut maintenant y ajouter le tourisme et les loisirs nautiques, qui se

sont largement développés autour de nombreux réservoirs artificiels européens. Et, à l'exemple du barrage-réservoir du Der-Chantecoq sur la Marne, en Champagne, certains sont même devenus des hauts lieux de naturalité, notamment pour l'accueil des oiseaux migrateurs !

Selon la Commission internationale des grands barrages, le qualificatif « grand barrage » s'applique à ceux qui ont une hauteur d'au moins 15 m et/ou répondent à d'autres critères de longueur, ou de capacité. Ainsi, un réservoir d'un volume supérieur à 3 millions de m³ et d'une hauteur de 5 à 15 m est également classé dans les grands barrages. Au xix^e siècle, il y avait environ 200 barrages de plus de 15 m en Grande-Bretagne pour alimenter les villes en eau potable et, en 1900, il y avait autant de réservoirs en Grande-Bretagne que dans le reste du monde. La technologie était rudimentaire, et les accidents étaient donc fréquents.

À partir des années 1950, la construction de barrages s'est accélérée dans le monde, en même temps que le développement économique de beaucoup de pays du Sud. C'est entre 1950 et 1970 qu'ont été construits les grands barrages africains sur le Nil (barrage d'Assouan et lac Nasser), sur la Volta (barrage d'Akosombo), sur le Niger (barrage de Kainji), sur le Zambèze (barrage de Cahora Bassa), sur le Bandama (barrage de Kossou), etc. Depuis les années 1990, l'activité s'est ralentie, à la fois parce que beaucoup de sites intéressants étaient déjà équipés, mais aussi pour des raisons économiques.

On estime qu'au moins 45 000 grands barrages ont été construits dans le monde et que près de la moitié des fleuves en possèdent au moins un. Il y a environ 300 barrages géants de plus de 150 m de haut (CMB, 2000). Actuellement c'est la Chine qui possède le plus grand nombre de grands barrages (plus de 20 000), suivie par les États-Unis (environ 6 500). La conquête de l'Ouest américain doit probablement autant aux barrages qu'aux cow-boys car la mise en valeur de ces terres arides passait par une maîtrise de l'eau et de l'irrigation. Outre les grands barrages, il y aurait aussi environ 800 000 barrages de plus petites dimensions (Hoeg, 2000). Le

volume d'eau stocké dans les réservoirs totalise ainsi plus de 8 000 km³ selon Chao *et al.* (2008).

En Europe occidentale, on compte plus de 3 200 grands barrages dont 522 en France métropolitaine. Jusqu'en 1920, les grands barrages étaient construits pour faciliter la navigation, à l'exemple du barrage de Saint-Ferréol, le plus ancien en France, construit entre 1667 et 1672 pour alimenter le canal du Midi. Après 1940, on a surtout construit des barrages hydroélectriques. Depuis les années 1980, les retenues sont de plus petite capacité et leur usage s'est diversifié : alimentation en eau potable, irrigation, régulation des cours d'eaux, soutien d'étiage, etc.

Pourquoi construire des barrages ?

On a l'habitude de mettre en avant les conséquences des barrages qui sont réelles sur le plan hydrologique, sédimentologique, écologique et humain. Mais, pour être objectifs, il faut aussi mettre dans la balance les services qu'ils nous rendent, ou nous ont rendus !

Régulation des cours d'eau et soutien d'étiage

Autrefois, les rivières françaises servaient surtout à la navigation, qui jouait un rôle essentiel dans l'économie nationale. Ainsi, dans une lettre à Colbert du 20 décembre 1664, Pierre-Paul Riquet, constructeur du canal du Midi, juge « nécessaire de faire des magasins d'eau dans des endroits très favorables qui se rencontrent heureusement dans les montagnes et sur les courants de ces rivières ». L'eau ainsi conservée serait redistribuée au gré des besoins du canal, gommant ainsi les conséquences des aléas du climat sur la navigation des barques.

La construction des barrages-réservoirs sur la Seine a été motivée à la fois par le soutien d'étiage (figure 11.1) et par la régulation des crues. À la suite des grandes inondations de 1910 et de 1955, mais aussi des sécheresses des années 1920, un important programme d'aménagement du bassin en amont de Paris a été entrepris pour

assurer la sécurité de la capitale. Les quatre ouvrages actuels (le lac-réservoir de Pannecière dans l'Yonne, de 80 millions de m³, mis en service en 1949 ; le lac-réservoir Seine ou lac de la Forêt d'Orient, de 205 millions de m³, mis en service en 1966 ; le lac-réservoir Marne ou lac du Der-Chantecoq, de 364 millions de m³, mis en service en 1974 ; le lac-réservoir Aube, composé du lac Amance et du lac du Temple, mis en service en 1989-1990) sont gérés par l'Institution interdépartementale des barrages-réservoirs du bassin de la Seine, appelée « Les Grands Lacs de Seine », créée le 16 juin 1969.



Figure 11.1 L'étiage de la Seine à Paris (pont Marie) en 1943. (avec l'aimable autorisation de P. Hubert)

L'origine de cet « à-sec » de la Seine reste assez mystérieuse et serait due, selon certaines rumeurs, aux forces d'occupation allemandes afin d'inspecter les ponts et de préparer leur minage. Mais ce ne sont que des spéculations...

De l'eau pour l'irrigation

Environ la moitié des grands barrages du monde a été construite à des fins d'irrigation exclusivement. Sur 271 millions d'hectares irrigués dans le monde, 30 à 40 % utilisent l'eau de barrages. La question de l'irrigation et des retenues collinaires est un sujet sensible en France. Les retenues collinaires sont des réservoirs de stockage d'eau de dimensions modestes créés à partir d'un petit barrage en remblai. Elles existent depuis longtemps dans toutes les zones du monde où l'agriculture a besoin d'un apport supplémentaire en eau, là où le relief le permet. Elles servent aussi à la protection incendie, aux loisirs, à la pêche, à la pisciculture et, plus récemment, à alimenter les canons à neige. Elles apparaissent surtout comme des dispositifs locaux d'appoint, qui permettent d'accroître les disponibilités en eau au cours de l'année dans des zones isolées ou insuffisamment équipées et souffrant de déficit, chronique ou récurrent, de pluviométrie ou d'apports d'eau (Dunglas, 2014).

La production d'électricité

La production hydroélectrique est en croissance dans le monde, passant d'environ 1 000 TWh/an en 1965 à plus de 3 400 TWh/an en 2010. Cette croissance est particulièrement importante en Amérique du Sud, ainsi qu'en Asie, qui est le premier producteur d'hydroélectricité avec plus de 26 % de la production mondiale, devant l'Amérique du Sud. Cet accroissement se fait par la construction de nombreux barrages, à l'exemple du barrage des Trois-Gorges en Chine.

En France, EDF possède 640 barrages (figure 11.2) et 447 centrales de production. La production hydroélectrique atteint 63,8 TWh en 2012, soit 11,8 % de la production totale d'électricité du pays, ce qui en fait la seconde source de production d'électricité en France, derrière le nucléaire. Si l'on prend en compte, par contre, la production d'énergie primaire en 2011, la production primaire de l'ensemble des énergies renouvelables (électriques et thermiques) s'élève à 19,5 Mtep contre 139 Mtep pour la production nationale

énergétique. Le bois-énergie en représente 46 %, l'hydraulique 20 %, les biocarburants 10 %. Dans ce contexte, l'énergie hydraulique ne représente que 3,9 Mtep, soit 2,8 % de la production d'énergie primaire.

La production d'énergie hydroélectrique est souvent présentée comme une énergie « verte ». Certes, elle ne produit pas directement de gaz à effet de serre, mais on ne peut ignorer que les réservoirs, souvent mis en eau sans défrichement préalable, sont de grands réacteurs de méthane, un GES plus puissant que le gaz carbonique, au moins pendant les années qui suivent leur mise en eau.



Figure 11.2 Le barrage de Saint-Guérin, en Savoie, porte le nom du saint patron des alpages. (photo C. Lévêque, 2010)

C'est un barrage en voûte (250 mètres de long) mis en service en 1961. Il participe au vaste ensemble hydroélectrique du Beaufortain.

Les usages ludiques

L'attraction des citoyens pour les plans d'eau est bien connue. Si on ne construit pas spécifiquement de barrages pour les loisirs, ces derniers ont été l'occasion de développer, à proximité des villes, des loisirs nautiques qui n'existaient qu'en bord de mer, ainsi que des centres de vacances pour les amateurs de pêche ou de promenades. Ils ont ainsi contribué au développement d'une économie locale, ce qui n'était pas planifié lors de leur construction. Ces activités expliquent, en partie, la réticence des populations riveraines à l'arasement des barrages.

Les conséquences environnementales des barrages

La conséquence la plus visible des barrages est la fragmentation des rivières, entraînant des changements dans les caractéristiques physiques, chimiques et biologiques des cours d'eau.

Un obstacle au déplacement des espèces aquatiques

Les barrages constituent des obstacles pour les poissons. La survie des espèces migratrices comme le saumon, l'aloise, la truite de mer, la lamproie, etc. dépend de leur capacité à rejoindre les zones de frayères et de l'état de ces dernières. Or beaucoup d'entre elles ont été noyées ou sont devenues inaccessibles. L'utilisation de passes à poissons pour les espèces migratrices a connu un succès certain, mais limité, car la technologie n'est pas toujours adaptée aux sites et aux espèces concernées.

Néanmoins, l'argument selon lequel les barrages sont des obstacles à la migration des espèces n'est pas généralisable à l'ensemble des espèces aquatiques. En effet, une grande partie des macro-invertébrés sont des insectes qui ont des capacités de déplacement autonomes. Et, moyennant quelques exceptions (les crustacés du genre *Macrobrachium*, par exemple), beaucoup d'autres invertébrés n'ont pas besoin de la connectivité longitudinale pour accomplir leur cycle de vie.

Poissons migrateurs

Une des conséquences les plus importantes de l'aménagement hydroélectrique du bas Rhône concerne les poissons migrateurs, en particulier l'alose. Avant 1950, l'alose remontait l'ensemble du bassin du Rhône jusqu'au Doubs par la Saône, et au lac du Bourget par le haut Rhône. Le premier aménagement hydroélectrique, Donzère-Mondragon, mis en service en 1952, a coupé d'emblée l'accès à 75 % du bassin pour les poissons migrateurs. Les autres sites de frai ont été fortement compromis par la mise en service de l'aménagement de Vallabrègues, en 1970. À la fin des années 1980, l'alose n'était présente de façon significative qu'à l'aval de l'aménagement de Vallabrègues, les dispositifs de franchissement des seuils et des barrages étant peu ou pas efficaces pour cette espèce.

Un obstacle pour les transports sédimentaires

Les barrages retiennent les sédiments, qui ne viennent plus alimenter les plaines inondables de l'aval ainsi que les deltas, de telle sorte que ceux-ci s'érodent et s'enfoncent. Ainsi, avant la construction du barrage d'Assouan, le Nil charriait environ 124 millions de tonnes de sédiment, déposant environ 10 Mt dans les plaines inondables et le delta. Aujourd'hui, 98 % de ce sédiment est retenu par le barrage. Il en résulte une érosion et un enfoncement de la zone deltaïque qui n'est plus alimentée en sédiments.

Parmi les centaines de petits barrages construits en Afrique du Nord, l'envasement est variable selon la nature des sols et les aménagements : de 1,8 t/ha/an en Tunisie centrale sur un bassin boisé et aménagé en dispositifs anti-érosifs, à 3,8 t/ha/an sur le plateau basaltique de Syrie et à 50 t/ha/an sur un petit bassin marneux du Maroc. En Tunisie, un suivi sur 24 petits barrages met en évidence une perte de 22 % de la capacité initiale de stockage pour une durée d'existence moyenne de 7,7 ans, soit une perte moyenne de 4,6 % par an (Albergel *et al.*, 2004). Dans ce contexte, le colmatage rapide des réservoirs va à l'encontre d'un développement agricole durable.

Une circulaire de 1970 oblige EDF à une vidange décennale des barrages, de manière à éliminer une partie des sédiments accumulés. Or, à l'exemple du lac de retenue de Sauviat, dans le Puy-de-Dôme, un certain nombre de barrages ont accumulé des

sédiments toxiques, avec notamment de fortes concentrations en métaux lourds. Il s'agit le plus souvent d'une pollution ancienne, provenant d'industries aujourd'hui disparues qui rejetaient leurs déchets dans les cours d'eau, à une époque où la législation était moins contraignante. Il y a potentiellement des risques importants pour la flore et la faune aquatiques à relarguer ces métaux toxiques dans les rivières, ainsi qu'en témoignent des « accidents » qui se sont déjà produits dans le passé. On ne dispose pas vraiment de solution technique opérationnelle pour assurer l'élimination de ces matériaux sans impact sur l'environnement. La meilleure solution, pour l'instant, est de ne pas remettre les sédiments en suspension. Mais ce n'est qu'une solution d'attente.

Cette situation illustre le fait que l'opérateur EDF se trouve confronté à la gestion d'un problème d'environnement dont il n'est pas responsable, sachant que les entreprises situées en amont des barrages nient toute responsabilité dans cette pollution anonyme et parfois ancienne. Les riverains et les utilisateurs de la rivière quant à eux craignent un nouvel accident écologique. Et, en fin de compte, le contribuable anonyme finira par payer, très cher probablement, des opérations de décontamination.

Les chasses d'eau

Les chasses d'eau ont pour but d'évacuer une partie des matériaux accumulés dans une retenue afin d'éviter une sédimentation trop importante qui pourrait obstruer les conduites et gêner le fonctionnement du barrage. Ces chasses consistent en une vidange par l'abaissement de la retenue puis l'ouverture complète des vannes du barrage. Il en résulte qu'une partie des sédiments ainsi que l'eau chargée en azote ammoniacal et en hydrogène sulfureux rejoignent la rivière, modifiant la qualité de l'eau tout en colmatant éventuellement les habitats aquatiques.

Ces épisodes peuvent être traumatisants pour le milieu aquatique lorsqu'ils sont conduits sans précaution, et ils furent très souvent dans le passé à l'origine de véritables catastrophes écologiques, par défaut d'anticipation dans leur mode de gestion (Cemagref, 2004). Afin de minimiser les conséquences écologiques, les modalités des chasses ont été formalisées, sur le haut Rhône, par un accord franco-suisse de 1967, fixant les débits et les dates à respecter. C'est ainsi que, tous les trois ans, les chasses assurent le transit d'environ 1 500 000 tonnes de matériaux fins entre Génissiat, Seyssel, Chautagne, Belley, Brégnier-Cordon et Sault-Brénaz.

Une autre conséquence, qui n'était pas tellement prévue lors de la construction des barrages, est l'érosion côtière (Eurosion, 2004). Le recul des deltas est un phénomène bien connu pour un grand nombre de fleuves aménagés, tant en Europe qu'aux États-Unis. Actuellement, cette érosion due aux marées, courants marins et tempêtes n'est plus compensée par les apports des fleuves qui, autrefois, comblaient le déficit sédimentaire.

Ainsi, on estime que les aménagements du Rhône et de ses affluents ont fait passer la charge sédimentaire arrivant annuellement à la mer d'environ 30 millions de tonnes au début du xx^e siècle à 12 millions de tonnes dans les années 1960 et à seulement 8 millions de tonnes de nos jours. C'est la conséquence des barrages hydroélectriques construits depuis 1945, ainsi que de l'abandon des terres agricoles en montagne, qui avait déjà réduit l'abondance de la charge alluviale des rivières dans les premières décennies du xx^e siècle (Provansal, 2003). Cela explique l'érosion des plages de la Camargue et du Languedoc oriental, rongées par des courants littoraux peu chargés en sédiments. Un cinquième du littoral de l'Union européenne est sérieusement atteint par l'érosion côtière. Par endroits, le recul est de 0,5 à 2 mètres par an, et même de 15 mètres dans quelques cas alarmants.

La Camargue s'érode...

Avant les aménagements, le Rhône avait un lit très mobile façonné par les graviers. Mais le transit par charriage, qui atteignait $400\,000\text{ m}^3/\text{an}$ à l'entrée du bas Rhône, ne dépasse pas $40\,000\text{ m}^3/\text{an}$ de nos jours. Les apports par les affluents se sont réduits dans la seconde moitié du xx^e siècle, à la suite du reboisement des hauts massifs, ainsi que l'extraction massive de granulats. Ces prélèvements ont représenté l'équivalent de plusieurs siècles d'apport, ce qui a entraîné un abaissement du lit, interrompant le transit des graviers. En outre, l'endiguement des berges a encore limité les possibilités d'érosion. En l'absence de graviers, ce sont les limons qui façonnent la plaine alluviale du Rhône.

La conséquence de cette réduction des apports est le recul de la côte en Camargue. L'endiguement du fleuve empêche notamment l'inondation du delta et son exhaussement par l'apport de sédiment, car le panache fluvial évacue au large les sédiments fins. Sans compter que le niveau marin s'est élevé en moyenne de $2,2\text{ mm/an}$ entre 1905 et 2003 et monte actuellement au rythme de $3,2\text{ mm/an}$! Le recul rapide du trait de côte est ainsi le résultat de l'épuisement des apports du Rhône, et de la dynamique marine.

Une modification des régimes hydrologiques et des habitats aquatiques

Les barrages modifient sérieusement le régime des crues à l'aval, en écrêtant les crues, mais aussi en modifiant fortement le régime naturel des eaux dans la mesure où les lâchers se font en fonction des besoins en électricité. Ces lâchers d'eau affectent également le plan d'eau de la retenue, car ils peuvent entraîner des baisses de niveau importantes.

La principale conséquence écologique des barrages sur les rivières est de perturber les activités biologiques des espèces adaptées au rythme des crues. Ainsi, les plaines d'inondation ne reçoivent plus suffisamment d'eau, et ne fonctionnent donc plus comme des nurseries pour les juvéniles de poissons. Il s'ensuit une perte de la productivité biologique du cours d'eau.

L'existence de barrages en amont du fleuve est souvent invoquée pour expliquer les crues moins importantes dans le delta central du Niger et la diminution des captures de poissons. Pour être objectif, néanmoins, il faut reconnaître que le développement des populations de poissons dans les retenues donne lieu à une pêche abondante et active, dans beaucoup de barrages africains, à l'exemple du lac de Manantali, sur le fleuve Sénégal.

En arrêtant l'eau, les barrages créent un nouvel habitat : un lac d'eau stagnante. La création de ce nouvel habitat n'est pas en soit rédhibitoire. La flore et la faune d'eau courante laissent partiellement la place à une flore et une faune de type lacustre, qui n'existait pas nécessairement dans le cours d'eau, mais qui peut s'y installer rapidement si elle a les moyens de coloniser ce nouveau milieu.

Débits réservés

Débit réservé, débit de référence biologique, débit biologique minimum acceptable : sous ces termes, on désigne le débit qu'il serait souhaitable de maintenir à l'aval des barrages pour garantir au milieu aquatique des conditions acceptables pour la conservation des espèces animales et végétales. Les débits réservés constituent un outil de régulation pour concilier les différents usages de l'eau. En France, la loi pêche

de 1984 recommande de maintenir 1/10^e du module, c'est-à-dire du débit moyen interannuel, afin de préserver la vie piscicole. Sur le Rhône, l'expérience a montré qu'une augmentation des débits réservés avait des effets très positifs sur les habitats aquatiques et le peuplement piscicole.

Le développement des maladies parasitaires

On a tendance à oublier que, dans les pays tropicaux, la construction de réservoirs et l'irrigation ont été à l'origine de l'expansion de nombreuses maladies parasitaires. Parmi les maladies à support hydrique, on peut citer le ver de Guinée (draconculose) et la schistosomiose (bilharziose). Souvent, la prévalence de ces parasitoses augmente quand on construit des barrages pour l'irrigation car l'eau stagnante offre des conditions idéales au développement des hôtes intermédiaires, tels que les mollusques. Par exemple, le barrage d'Akosombo, sur le lac Volta, au Ghana, et le grand barrage d'Assouan, sur le Nil, en Égypte, sont à l'origine d'un accroissement spectaculaire de la schistosomiose dans ces régions. Par ailleurs, au Mali, une enquête effectuée dans 225 villages situés dans des milieux écologiques différents a montré que la prévalence de schistosomioses urinaires était cinq fois plus élevée dans les villages alimentés par de petits barrages (67 %) que dans les villages de la savane plus sèche (13 %) (Hunter *et al.*, 1993). Par ailleurs, les lacs de barrages sont également des milieux favorables au développement des moustiques transmettant le paludisme, qui tue plus d'un million de personnes chaque année en Afrique.

Tout projet de création d'un réservoir en zone tropicale devrait logiquement être associé à un programme de santé publique. Ce n'est presque jamais le cas !

Des réacteurs de gaz à effets de serre

De nombreux discours tendent à présenter l'hydroélectricité comme une alternative énergétique sans incidence climatique. Des mesures effectuées sur des réservoirs au Canada, en Finlande, aux États-Unis

ainsi qu'en Amérique du Sud amènent à questionner cette supposée « neutralité » de l'hydroélectricité. La commission mondiale des barrages (CMB, 2000) a constaté que tous les réservoirs échantillonnés à ce jour par les scientifiques produisent, comme les lacs naturels, des gaz à effet de serre en raison de la décomposition de la végétation et des apports de carbone du bassin versant.

Le volume de ces émissions est néanmoins très variable. Un chercheur brésilien, Fearnside (1997), a produit des résultats qui montrent que certains réservoirs artificiels laissent échapper des quantités très importantes de gaz à effet de serre (CO₂ et méthane). Ainsi, du réservoir de Balbina, près de Manaus, en Amazonie, il serait sorti, dès sa première année de mise en eau en 1988, 10 millions de tonnes de CO₂ et 150 000 tonnes de méthane. En comparant le barrage de Balbina à une centrale au charbon qui produirait la même quantité d'électricité, on en déduit que l'hydroélectricité serait 16 fois plus polluante ! Cependant, cette situation ne semble pas être généralisable à l'ensemble des réservoirs, les barrages amazoniens, surtout lors de leur mise en eau, étant très riches en matière organique décomposable. Ailleurs (c'est le cas notamment des réservoirs dans les zones boréales), les émissions brutes de gaz à effet de serre seraient considérablement plus faibles que celles des centrales thermiques.

Des travaux réalisés en Guyane depuis la mise en eau du barrage EDF de Petit-Saut en 1994 ont montré que cet ouvrage était susceptible de produire en un siècle autant de gaz à effet de serre, en équivalent CO₂, qu'une centrale thermique à gaz de puissance équivalente. Au niveau mondial, les premières estimations publiées situent à environ 70 mégatonnes annuelles les quantités de méthane produites par les retenues artificielles de par le monde (St-Louis *et al.*, 2000), un chiffre à vérifier, qui équivaldrait à la production en méthane de l'ensemble des rizières mondiales.

Le développement d'espèces invasives dans les réservoirs, telles que la jacinthe d'eau, produit d'énormes quantités de matière

organique qui, en se décomposant, sont également susceptibles d'accroître la production des GES.

Risques de ruptures

Les risques environnementaux les plus souvent cités pour les barrages sont les conséquences de leur rupture éventuelle. Malgré leur faible charge, les petits barrages ont un taux de rupture moyen qui est du même ordre de grandeur que les grands barrages. Comme il y a au moins cinquante fois plus de petits barrages que de grands barrages, quelques dizaines de petits barrages sont détruits chaque année dans le monde (Albergel *et al.*, 2004). Lorsqu'il s'agit d'un barrage de 50 000 m³, sa destruction passe inaperçue. Elle n'engendre que peu de catastrophes à l'aval, mais les sédiments stockés dans la retenue sont libérés dans le réseau hydrographique et le cours d'eau reprend son régime hydrologique naturel. Lorsqu'il s'agit d'un ouvrage de 10 à 15 m de haut avec un stockage de quelques centaines de milliers de mètres cubes, sa rupture peut créer des crues dangereuses de plusieurs centaines de mètres cubes par seconde dans un cours d'eau auprès duquel des populations ont pu s'installer. Les autorités chinoises ont reconnu, en 1998, que plusieurs milliers de leurs barrages construits dans les années 1950 et 1960, en mauvais état, sont menacés de rupture. Déjà plus de 300 d'entre eux auraient cédé, provoquant des centaines de morts. Difficile à vérifier !

Une étude réalisée par le Cemagref a mis en évidence que les petits barrages du Gers souffraient dans l'ensemble d'un vieillissement prématuré. Parmi les principales raisons : l'insuffisance des études préalables des sites et des sols, les simplifications de structure adoptées par les maîtres d'œuvre pour diminuer le coût de la construction, le laxisme des propriétaires ainsi que le manque d'entretien et de suivi des ouvrages (Lautrin, 1998).

L'effacement des barrages et la reconquête de l'axe fluvial : de la théorie à la pratique

La présence de barrages fait obstacle aux migrations des poissons qui remontent les cours d'eau pour frayer. En Europe, ces ouvrages sont en partie responsables de la raréfaction de plusieurs espèces de poissons amphihalins, dont le très emblématique saumon. Cette situation est-elle irréversible ? La réponse logique et théorique est simple : on va supprimer les seuils et les barrages qui encombrant nos rivières, et nos poissons pourront de nouveau circuler librement, à la grande satisfaction de quelques pêcheurs et naturalistes. Voilà une bonne idée ! Dans cette approche typiquement sectorielle, on ne parle que des poissons migrateurs, mais pas des implications sociales et économiques de l'arasement des barrages puisque, comme toujours, c'est la société qui va assumer...

Restaurer la continuité écologique ?

Introduite en 2000 par la Directive cadre sur l'eau, la continuité écologique d'un cours d'eau est définie comme la libre circulation des organismes vivants et leur accès aux zones indispensables à leur reproduction, leur croissance, leur alimentation ou leur abri, le bon déroulement du transport naturel des sédiments ainsi que le bon fonctionnement des réservoirs biologiques (connexions, notamment latérales, et conditions hydrologiques favorables) (article R. 214-109 du code de l'environnement définissant un obstacle à la continuité écologique).

L'Onema a recensé environ 60 000 ouvrages sur le territoire français : barrages et seuils (ouvrage, fixe ou mobile, qui barre tout ou partie du lit mineur d'un cours d'eau et dont la hauteur est en général inférieure à 5 m). La moitié d'entre eux, au moins, n'aurait pas d'usages avérés.

D'après les états des lieux réalisés dans les années 2004-2005, les barrages et endiguements, qui compartimentent les cours d'eau, seraient responsables d'environ 50 % des risques de non-atteinte du bon état écologique des eaux en 2015. La restauration de la continuité écologique est donc indispensable au respect de cet objectif (*JO Sénat* du 17/03/2011). On se demande de quel chapeau sort le chiffre de 50 %. Mais qu'importe ! Le gouvernement a lancé, en

novembre 2009, un plan national de restauration de la continuité écologique des cours d'eau avec une mise en œuvre progressive et hiérarchisée. Il fixe les priorités d'intervention sur les cours d'eau empruntés par les migrateurs amphihalins.

Des expériences d'effacement prometteuses

La loi du 16 octobre 1919 sur l'utilisation de l'énergie hydraulique prévoit que les concessions ou autorisations d'utiliser l'énergie hydraulique sont accordées pour une durée limitée ne pouvant dépasser soixante-quinze ans, avec obligation de remise en état des lieux si la concession n'est pas renouvelée. Ce principe de réversibilité des aménagements a été mis en application en France dans le cadre du plan « Loire Grandeur Nature » adopté en 1994 par le gouvernement français. Il s'agit de prévenir les inondations, tout en préservant les habitats aquatiques, et notamment le caractère « sauvage » de la Loire. En particulier, il a été décidé que les barrages de Saint-Étienne-du-Vigan, sur l'Allier, et de Maisons-Rouges, sur la Vienne, dont les impacts n'étaient plus compensés par un intérêt économique suffisant, seraient détruits. Les expériences réalisées sur la Loire ont montré que l'effacement des barrages pouvait avoir effectivement un effet bénéfique sur les migrateurs.

Le barrage de Maisons-Rouges, construit en 1922, a été démoli durant l'été 1998. Créé au départ pour les besoins d'une papeterie, il a ensuite été intégré dans le patrimoine d'EDF, mais, du fait de sa position à l'aval immédiat de la confluence de la Vienne et de la Creuse, il constituait un véritable verrou, entravant sérieusement la remontée des poissons migrateurs et l'accès aux frayères (au XIX^e siècle, on comptait 800 hectares de frayères de saumon dans la Vienne). Malgré différentes tentatives d'aménagement destinées à favoriser son franchissement par les espèces migratrices, le barrage était tenu pour responsable de la réduction considérable de l'abondance des espèces migratrices dans le bassin de la Loire.

De fait, les poissons migrateurs ont rapidement bénéficié de la disparition du barrage. Dès 1999, les aloses ont retrouvé leurs

frayères dans la Vienne et la Creuse. Une recolonisation conséquente par la lamproie a également été constatée dans la Creuse et la Gartempe. Quant au saumon, le fait que plusieurs individus aient été observés au cours du second semestre 1999 dans la Gartempe était un signe encourageant car l'espèce n'y avait plus été signalée depuis les années 1920. La présence du saumon a été confirmée depuis, mais en petits effectifs.

Cette expérience en « vraie grandeur » montre que la démolition des barrages constitue une solution possible pour la restauration de certaines populations de poissons. Un barrage n'est pas éternel. Or, rien qu'en Europe, des milliers de barrages construits dans la première moitié du ^{xx}^e siècle, surtout dans les zones de montagne, arrivent en fin de concession. Certains d'entre eux nécessiteraient des travaux de modernisation très coûteux, ne serait-ce que pour des raisons de sécurité. Leur destruction est maintenant une hypothèse envisageable, surtout si l'on peut en escompter des bénéfices environnementaux. Les riverains, cependant, ne l'entendent pas toujours de cette oreille (*cf.* chapitre 14).

Mais un dogme à nuancer...

L'arasement des barrages ou des digues est à l'ordre du jour pour remplir nos obligations vis-à-vis de la DCE. Il s'agit de restaurer la continuité écologique, un concept qui a été introduit dans la loi sur l'eau et la loi du Grenelle I de 2009 définissant la trame verte et la trame bleue. Le plan d'action établi par l'État s'appuie sur une idée simple : supprimer ou aménager les obstacles qui entravent les cours d'eau.

Depuis 1919, l'État avait exigé par décret que plusieurs rivières accueillant des grands migrateurs soient équipées de passes à poissons. Certains aménagements continuent à jouer le rôle qui leur avait été assigné, mais 90 % d'entre eux ne sont plus utilisés, et beaucoup ne sont plus entretenus par leurs propriétaires. Un recensement réalisé en 2010 identifie ainsi 60 000 obstacles, seuils de moulins ou barrages sur le territoire métropolitain, dont 55 000 abandonnés (Onema, 2010). Il y en aurait 10 000 pour le seul bassin

de la Loire, dont 87 % de seuils implantés sur des sites d'anciens moulins.

La loi « pêche » de 1984 a élargi l'exigence de construire des dispositifs de franchissements sur les barrages, mais son application n'a guère été effective et de nombreux barrages sont, depuis, en infraction. En basse Normandie, 45 % des passes à poissons avaient une efficacité nulle ou douteuse en 2005. Et en Alsace, 65 % des passes sur l'Ill sont mal entretenues et 35 % inefficaces... Selon un rapport du Meeddat en 2008 sur la police de l'eau, pour les cas où la non-conformité a été reconnue, moins de 10 % donnent lieu à procès-verbal, c'est-à-dire que 90 % des cas font seulement l'objet d'un rappel à la réglementation. Et seuls 8,5 % des constats débouchent sur une mise en demeure. Un tel laxisme dans l'application de la loi n'incite pas vraiment les propriétaires à entretenir les dispositifs de franchissement...

On peut certes leur trouver des défauts, à ces seuils ! Ils perturbent l'écoulement et les retenues contribuent à l'eutrophisation des eaux. En période estivale, ils participent à l'évaporation et au réchauffement des eaux. Et puis, ce sont également des obstacles à la circulation des poissons migrateurs. Mais d'un autre côté, ils contribuent à diversifier les milieux aquatiques et constituent des réserves d'eau pour les soutiens d'étiage. On en aura peut-être besoin dans les décennies à venir ! Si l'utilité économique de nombreux barrages peut être remise en cause, ils ont aussi une valeur patrimoniale : dans l'esprit des riverains, ils font partie intégrante de la rivière, avec les plans d'eau qu'ils génèrent et qui sont souvent attractifs pour les loisirs.

Le lac du Der-Chantecoq, créé en 1974 afin de régulariser le cours de la Marne en Champagne, représente le plus grand lac artificiel de France avec 4 800 ha. Ce réservoir avait pour fonction initiale de retenir les eaux de crue pour limiter la montée du niveau de la Seine à Paris. On a peut-être oublié qu'il avait fait l'objet de vives oppositions car il a noyé trois villages et une zone réputée de bocage. Le coût écologique et social est loin d'être nul. Après la mise en eau, les oiseaux ont colonisé cette vaste zone humide artificielle.

Les vasières découvertes à la fin de l'été attirent les limicoles en migration. Les îles au beau milieu du lac servent de reposoir aux grues cendrées durant la nuit. Point de passage obligé lors des migrations du printemps et d'automne, le lac est également prisé par les hivernants. L'été, les migrants de retour des pays chauds retrouvent les oiseaux sédentaires. Bref, un paradis pour les ornithologues... En tout cas, une zone ornithologique d'importance internationale selon le site web de la LPO.

Imaginez un seul instant (mais il faut avoir une imagination vraiment débordante...) qu'au nom de la restauration de la continuité écologique, on décide d'effacer le barrage. Ce retour en arrière serait sans aucun doute perçu comme un drame de la part des ornithologues. On serait enclin, dans ces conditions, à faire une entorse aux grands principes ? En réalité, cette situation n'est pas unique, et beaucoup de sites aménagés sont devenus des milieux d'accueil pour des espèces emblématiques. De celles-là on parle peu dans le monde de la restauration !

Dans ce contexte, on assiste à des tentatives de radicalisation : pour les uns, il faudrait patrimonialiser tous les moulins même si tous n'ont pas de réelle valeur patrimoniale, tandis que pour les autres il faudrait araser tous les barrages sans exception en négligeant les usages associés à certains d'entre eux, ou en surestimant les bénéfices apportés par l'effacement. Il serait maladroit de sous-estimer la valeur patrimoniale (figure 11.3) et touristique des barrages, ainsi que l'attachement des citoyens à ces témoins du passé. Mais il serait tout aussi naïf de croire que le seul fait d'invoquer la sauvegarde d'un patrimoine donne toute légitimité pour ne rien faire. Certains propriétaires de moulins oublient que le droit de l'eau est lié à un usage et qu'ils doivent s'astreindre à des règles d'entretien.



Figure 11.3 Le moulin de Grand Fayt, dans le Nord. (photo C. Lévêque, 2010)

Les moulins à eau ont longtemps été des infrastructures indispensables à notre économie quotidienne. Ils ont maintenant perdu leur utilité, et sont même considérés comme des obstacles à la libre circulation des espèces aquatiques. On peut comprendre la réticence des propriétaires de moulins et des citoyens à détruire ce qui est considéré par beaucoup comme un véritable patrimoine bâti et naturel.

Si le principe de l'effacement de seuils et de barrages est acquis pour les services de l'État, le principal frein à sa mise en œuvre est d'ordre culturel. La concertation est donc de mise. Comme le reconnaît le ministère de l'Écologie, les mesures d'aménagement ou de suppression doivent être établies au cas par cas et de manière proportionnée.

Le jeu des acteurs mobilisés pour ou contre l'arasement est sensiblement structuré autour d'alternatives au modèle historique de la rivière aménagée, diffusées par des associations de protection de

l'environnement, de défense du patrimoine, ou par les médias. Trois modèles principaux s'affrontent (Germaine et Barraud, 2013). Le premier modèle revendique le maintien et la restauration de la rivière aménagée. Il tend à promouvoir l'image idéalisée d'une rivière belle et utile, la rivière à moulins, et ses aspects paysagers liés notamment aux chutes d'eau. Le second modèle, dit écocentré, est basé sur l'assimilation du cours d'eau à une infrastructure naturelle. La restauration écologique doit assurer la préservation et le rétablissement du patrimoine naturel, évalué à partir de la fonctionnalité écologique, et des services écosystémiques délivrés et de la biodiversité. Ce modèle est privilégié dans les projets initiés par les services de l'État. Enfin, un troisième modèle, dérivé du précédent, s'en distingue par son fondement éthique et clairement biocentré. Il s'agit du modèle de la rivière sauvage, soutenu à l'échelle internationale par des ONG de l'environnement qui reprennent l'imagerie de la *wild river* renvoyant à un état idéalisé de nature vierge, et qui considèrent que le barrage est le symbole de la dégradation environnementale (Barraud, 2011). Les promoteurs de ce modèle rêvent de « rivières sauvages », caractérisées par des écoulements libres, voire torrentueux, à l'exemple des rivières exemptes d'interventions humaines et présentant une dynamique fluviale sans contrainte (Malavoi, 2011).

Il est manifeste que ces scénarios ne sont pas compatibles. La question de la continuité écologique des cours d'eau a ouvert une boîte de Pandore. D'une manière un peu caricaturale, elle met en exergue des conflits à la fois idéologiques, économiques et politiques.

Face à un certain autoritarisme public, qui ne dispose cependant pas des moyens humains et économiques pour appliquer correctement les normes environnementales qu'il élabore, s'opposent des velléités privatives (moulins, mais aussi hydroélectricité) et des utopies idéologiques (retour à la nature sauvage) qui, sous couvert d'aménagement des rivières, défendent des intérêts sectoriels. Chacun, bien entendu, à grand renfort de préjugés sur ce que devrait être le bon état de la rivière...

Mais ce ménage à quatre (État, propriétaires, industriels, écologistes) soulève la question de la participation du public à ces discussions, ce qui revient à parler de la gouvernance au sens de la DCE. Mais, au final, les opérations de démantèlement de barrages se font-elles au bénéfice d'un plus grand nombre de citoyens ? Ces nouveaux espaces de rivières sauvages, ces conservatoires de nature, seront-ils des espaces ouverts et partagés ou bien des espaces fermés et réservés à la jouissance de quelques individus (Barraud, 2011) ? On pourrait ajouter un autre commentaire : les cas d'effacement menés à bien demeurent peu nombreux en France. En général, ils n'ont bénéficié d'aucun suivi des conséquences sociales et/ou économiques. Quant à l'évaluation écologique, elle est « en cours de structuration » (Morandi et Piégay, 2011), doux euphémisme pour dire qu'elle n'existe pratiquement pas. Il est donc pour le moins discutable de décréter un programme d'arasement sans avoir fait la preuve indiscutable qu'une telle opération est globalement bénéficiaire pour la société dans son ensemble.

Quelles perspectives ?

La prolifération des lacs de barrage à travers le monde s'est faite le plus souvent à partir d'une démarche sectorielle d'usage de l'eau. Une étude menée par la commission mondiale des barrages fait un constat globalement positif des bénéfices tirés de ces barrages, mais sévère quant aux conséquences sociales et environnementales. On a, par exemple, sous-estimé les conséquences sanitaires liées à l'existence des barrages, leur rôle dans la production des GES, les conséquences en matière d'érosion des côtes et des deltas, les risques que fait courir le vieillissement des barrages dans un contexte climatique qui évolue rapidement. Dans certains cas, des solutions peuvent être apportées mais, pour l'érosion côtière, on s'interroge encore. Les petits barrages paraissent poser moins de problèmes environnementaux et mieux intégrer la concertation entre les acteurs du développement, mais leurs conséquences sur le cycle de l'eau sont encore mal évaluées, et leurs conséquences sur la santé nécessitent d'être mieux prises en compte.

La mode des grands barrages (surtout construits à partir des années 1960), qui était motivée par la perspective, pour les pays, d'acquérir leur indépendance énergétique, est maintenant assez largement discutée. Ainsi, on n'avait pas toujours envisagé ni quantifié les effets secondaires en matière sociale, économique ou d'environnement. À une époque où les économistes parlent beaucoup de services écosystémiques, il serait intéressant qu'ils refassent leurs calculs...

Si l'analyse économique du barrage d'Assouan avait internalisé le coût des installations de drainage nécessaires pour maintenir la productivité agricole dans les périmètres irrigués, le coût total du projet aurait été nettement plus élevé. Si, d'autre part, le coût des pertes en productivité agricole du delta résultant de l'intrusion saline, le coût des pertes de l'industrie des pêches en Méditerranée orientale résultant d'un apport beaucoup plus faible en éléments nutritifs à la mer, le coût de l'érosion des côtes et de la lutte contre cette érosion, le coût, enfin, de l'expansion des maladies eau-transmissibles avaient été inclus dans les études coûts-bénéfices préliminaires à la construction du barrage, on peut penser que le montant aurait dissuadé les promoteurs d'investir dans un tel projet. En réalité, un certain nombre de ces ouvrages sont des constructions de prestige, et le barrage d'Assouan fut un exemple parmi d'autres où la dimension politique primait sur les avis scientifiques. Sur le terrain, néanmoins, les Égyptiens apprécient maintenant les bienfaits du barrage qui les a protégés des crues et des étiages sévères.

Sur le plan écologique, si l'on discute les conséquences des barrages, le bilan est moins tranché. Certes, ils interrompent les migrations des espèces vers l'amont, mais cela ne concerne, en France, que quelques espèces de poissons. Par contre, elles sont très emblématiques ! En retour, les barrages créent une hétérogénéité d'habitats, et notamment des plans d'eau semi-stagnants, favorables à la diversification des espèces aquatiques. Ils offrent aussi un autre avantage : le stockage d'une eau qui peut servir à maintenir un minimum de débit en période d'étiage sévère. On en aura peut-être besoin, si l'on en croit les scénarios prospectifs (Explore 2070) qui prévoient, en métropole, des étiages plus sévères en raison d'une diminution de la pluviométrie sur le territoire. Autant

de raisons pour ne pas tirer de conclusions péremptoires sur la nécessité de rétablir la continuité écologique à tout prix ! Méfions-nous des dogmes, tout est dans la mesure !

Enfin n'oublions pas que la continuité écologique et la trame bleue qui ont été érigées en grands principes de restauration, sont aussi des autoroutes pour les espèces invasives... On n'y avait pas pensé ou on fait l'autruche ?

Pour en savoir plus

Académie d'agriculture de France, 2013. *Eau et agriculture. Débats et perspectives*. Rapport du groupe Eau de l'Académie d'agriculture de France (sur le web).

Albergel J., Nasri S., Boufaroua M., Droubi A. et Merzouk A.A., 2004. Petits barrages et lacs collinaires, aménagements originaux de conservation des eaux et de protection des infrastructures aval : exemple des petits barrages en Afrique du Nord et au proche orient. *Sécheresse*, 15 (1) : 78-86.

Cemagref, 2004. Barrages et développement durable en France. Synthèses, débats, rapports généraux. *Ingénieries*, supplément au n° 38.

Chao B.F., Wu Y.H., Li Y.S., 2008. Impact of artificial reservoir water impoundment on global sea level. *Science*, 320 (5873): 212-214.

CMB, 2000. Barrages et développement. Un nouveau cadre pour la prise de décisions. Tour d'horizon. Rapport de la commission mondiale des barrages, novembre 2000. www.dams.org 

Dunglas J., 2002. Érosion des bassins versants et gestion des barrages. Conclusion. C.R. Académie d'agriculture de France, 88 (1) : 119-121.

Dunglas J., 2014. Stockage de l'eau : quel avenir pour les retenues collinaires ? Groupe Eau de l'AAF, notes de travail n° 3 (sur le web).

EDF, 2000. L'énergie hydraulique à EDF. 28 août 2000.

EuroSION, 2004. Living with coastal erosion in Europe: Sediment and space for sustainability. Part I - Major findings and policy recommendations of the euroSION project, 10 mai 2004.

FAO, 1995. Effects of riverine inputs on coastal ecosystems and fisheries resources. *FAO Fisheries technical paper*, n° 349, Rome.

Fearnside P.M., 1995. Hydroelectric dams in the Brazilian Amazon as sources of greenhouse gases. *Env. Conserv.*: (22) 7-19.

Fearnside P.M., 1997. Greenhouse-Gas emissions from Amazonian hydroelectric reservoir: the example of Brazil's Tucuruí dams compared to fossil fuel alternatives. *Environmental Conservation*, 24 (1).

Hoeg K., 2000. Dams: Essential infrastructure for future water management. Paper presented at the Second world water forum for the international commission on large dams, 17-22 mars 2000, La Hague.

Hunter J.M., Rey L., Chu K.Y., Adekolu-John E.O. et Mott K.E., 1993. Parasitic diseases in water resources development: the need for intersectoral negotiation. Geneva, World Health Organization. 152 p.

Larinier M. et Travade F., 1997. Le franchissement des barrages par les poissons migrateurs ; l'expérience française. Académie d'agriculture de France, séance du 1/10/1997.

Lautrin D., 1998. Le vieillissement des petits barrages en remblai. *Ingénieries*, 14 : 55-67.

Margat J., 2002. La sédimentation des réservoirs et ses conséquences sur la maîtrise des ressources en eau dans le monde. C.R. Académie d'agriculture de France, 88 (1) : 105-114.

Onema, 2010. Pourquoi rétablir la continuité écologique des cours d'eau ? Journée d'information du 5 mai 2010. Brochure.

Pattee E., 1988. Fish and their environment in large european river ecosystems. The Rhône. *Sciences de l'eau*, 7 (1), 35-74.

Peyras L., Royet P., Boissier D. et Vergne A., 2004. Diagnostic de risques liés au vieillissement des barrages. Développement de méthodes d'aide à l'expertise. *Ingénieries*, 38 : 3-12.

Provansal M., 2003. Dynamique à long terme des milieux littoraux. In Lévêque C. et Van der Leeuw S., *Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement*, p. 140-145. Elsevier.

Souchon Y., Valentin S., et Capra H. 1998. Peut-on rendre plus objective la détermination des débits réservés par une approche scientifique ? *Houille blanche*, 8: 41-45.

St-Louis V.L., Kelly C.A., Duchemin E., Rudd J.W. M., Rosenberg D.M., 2000. Reservoir surfaces as sources of greenhouse gases: a global estimate. *Bioscience*, 50, 9, 766-775.

La rivière aux poisons

« Une eau est saine lorsque les animaux et les végétaux d'une organisation supérieure peuvent y vivre, une eau au contraire est infectée lorsqu'elle ne peut plus nourrir que des infusoires et des cryptogames. »

Auguste-Charles Gérardin (1874)

Dans l'imaginaire collectif, l'eau des rivières est bien évidemment une eau limpide et claire. C'est l'eau lustrale, celle dans laquelle, et par laquelle, on se ressource. S'il n'en est pas ainsi, c'est que notre société urbano-industrielle a tout gâché ! Mais si l'on interviewait un poisson pour nous parler de son eau préférée, il y a fort à parier qu'il choisirait une eau riche en plancton et relativement turbide selon nos critères ! Une eau riche en nitrates est ainsi un avantage pour l'agriculteur qui irrigue son champ, alors que c'est un handicap quand on veut la boire. La qualité de l'eau est donc une appréciation toute relative, qui dépend de l'utilisateur et de l'usage qu'il en fait. On ne devrait donc pas parler de qualité de l'eau, mais de qualités des eaux !

En réalité, on s'intéresse surtout aux qualités de l'eau du fait de la pollution. C'est donc un regard le plus souvent suspicieux que les médias et les scientifiques portent sur l'eau des rivières. Pas étonnant, dans ces conditions, que le grand public ait, lui aussi, une image négative. Par effet miroir, une eau de bonne qualité, selon les critères normatifs, serait une eau non polluée, dont les teneurs en éléments chimiques jugés toxiques ne dépassent pas les valeurs légales. Un langage technocratique qui ne signifie pas grand-chose pour le citoyen, ce dernier utilisant d'autres types d'approches, plus visuels ou plus sensoriels, pour évaluer l'état d'une eau.

La pollution des eaux est un des domaines qui a fortement contribué à la sensibilisation de nos sociétés aux problèmes d'environnement

dans les années 1960. C'est une question complexe, qui fait intervenir beaucoup d'acteurs économiques et sociaux, et qui interpelle directement notre mode de développement. C'est aussi un super-business avec des enjeux financiers énormes, qui met en jeu des pollueurs et des dépollueurs, et au milieu desquels des scientifiques et des techniciens essaient difficilement d'établir des règles du jeu, que les uns et les autres s'ingénient à transgresser. En réalité, c'est un domaine dans lequel interfèrent la recherche d'un profit à court terme (vendre des pesticides, par exemple, ou des procédés de dépollution...), des comportements irresponsables, voire parfois délictueux (utilisation et/ou rejets dans la rivière de produits interdits) et des jeux de rôle où l'État fait de la surenchère et imagine pouvoir jouer les arbitres en légiférant.

Une vision un peu simpliste, dans la perspective de rechercher un bouc émissaire, pourrait laisser penser que ce sont les industriels et les agriculteurs qui sont surtout responsables de la pollution des eaux. Si ces derniers ne sont pas innocents, loin s'en faut, les citoyens ordinaires, eux aussi, ont leur part de responsabilité dans ce processus.

Pollutions : de quoi parle-t-on ?

Historiquement, la pollution c'est la contamination (d'une personne, d'un lieu, etc.) par des substances impures. C'est un terme à connotation religieuse, signifiant profanation, souillure. Dire d'un cours d'eau qu'il est pollué laisse penser que le produit déversé n'a pas à s'y trouver. Dans le langage courant, la pollution est perçue comme une atteinte à l'environnement résultant de la dissémination de produits toxiques pour l'homme ou les organismes vivants. Au sens large, le terme polluant désigne des agents qui sont à l'origine d'une altération des qualités du milieu. Il s'agit le plus souvent de substances chimiques artificielles créées par l'homme et dispersées dans l'environnement.

L'apparition du terme « pollution » est très postérieure aux pratiques polluantes. Il nous vient de Grande-Bretagne où fut créée, en 1865,

la Royal Commission on River Pollution destinée à rechercher les causes de l'altération des rivières du royaume. Le mot est ensuite introduit en français, quasi exclusivement pour parler des eaux. C'est en quelque sorte un concept qui recouvre des pratiques différentes, mais qui permet de donner une cohérence à un ensemble d'événements dispersés. Pour les polluants qui ont un effet nocif sur les organismes vivants, on utilise souvent le terme « contaminants ». Les langages scientifiques, législatifs et normatifs ont retenu le terme « contamination », le mot « pollution » qualifiant alors une contamination au-delà d'une norme ou d'un seuil admis.

La Directive cadre sur l'eau introduit le terme « substances dangereuses » pour désigner celles qui provoquent une intoxication des organismes pouvant aller jusqu'à la mort, qui sont persistantes et bio-accumulables, qui s'expriment à très faible concentration, telles que les métaux (plomb, mercure, cadmium, etc.), les composés du tributylétain, des pesticides (atrazine, diuron, endosulfan), etc. Parmi celles-ci, on distingue en outre les « substances dangereuses prioritaires » dont les rejets, émissions ou pertes doivent être progressivement supprimés d'ici vingt ans.

« Il y a pollution [de l'air, de l'eau, du sol, etc.] lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante dans la proportion de ses constituants est susceptible de provoquer un effet nuisible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une gêne » (Conseil de l'Europe, 1987).

Pour l'agence de l'eau Rhin-Meuse, la pollution de l'eau est une altération qui rend son utilisation dangereuse et (ou) perturbe l'écosystème aquatique (site de l'agence de l'eau Rhin-Meuse).

Pollution : « l'introduction directe ou indirecte, par suite de l'activité humaine, de substances ou de chaleur dans l'air, l'eau ou le sol, susceptible de porter atteinte à la santé humaine ou à la qualité des écosystèmes aquatiques ou des écosystèmes terrestres dépendant directement des écosystèmes aquatiques, qui entraînent des détériorations aux biens matériels, une détérioration ou une entrave à l'agrément de l'environnement ou à d'autres utilisations légitimes de ce dernier » (arrêté du 25 janvier 2011 sur l'état écologique des eaux de surface).

« L'état chimique d'une masse d'eau de surface est bon lorsque les concentrations en polluants ne dépassent pas les normes de qualité environnementale (NQE) par le biais de valeurs seuils » (<http://www.eaufrance.fr/spip.php?rubrique69> .

On notera deux approches assez différentes dans les définitions proposées. D'une part, une approche basée sur des normes et l'existence de seuils tolérables ou non : la pollution est avérée quand un produit atteint un seuil susceptible de compromettre les usages domestiques de l'eau. On s'inscrit, chemin faisant, dans la problématique du risque. D'autre part, une approche où l'on parle des conséquences de la pollution sur l'écosystème et sur son fonctionnement. C'est l'approche privilégiée par les écologues, qui nécessite une démarche systémique englobant non seulement la qualité physico-chimique des eaux, mais aussi le compartiment biologique.

Le savoir pré-scientifique : des goûts et des odeurs

Avant le développement de méthodes scientifiques et la découverte des microbes, il existait un savoir empirique sur la dégradation de l'environnement, en relation avec ses conséquences sur la santé humaine. Goubert rappelle d'ailleurs qu'en matière de signes de reconnaissance de la dégradation des eaux, « jusqu'à vers 1850 environ, le savoir réputé scientifique s'accorde assez bien avec le savoir populaire : les eaux sont suspectes et dangereuses lorsqu'elles sont stagnantes, chargées de pourriture, en d'autres termes, méphitiques ». En réalité, on avait établi de manière empirique, une forte corrélation entre les maladies des gens et la dénaturation de l'eau !

Ce qui dérange, au début du XIX^e siècle, c'est l'inconfort, qui est une notion olfactive. La puanteur des rivières fait naître un sentiment anxiogène, en particulier dans les villes. Comme le fait remarquer Corbin (1995) : c'est l'odeur, associée à des idées d'insalubrité et à l'existence de « miasmes » qui transmettent les maladies par l'air, qui pousse les classes aisées à réclamer plus de réglementation. Le goût est également un élément révélateur : une eau malsaine a nécessairement un goût désagréable.

Il y a pollution et... pollution !

Comme beaucoup de termes, « pollution » est utilisé de manière générique pour désigner différentes formes de nuisances. On parle ainsi de pollution visuelle quand les eaux ont un aspect peu

sympathique (forte turbidité, débris flottants), de pollution par des substances chimiques, ou organiques, ou radioactives, ou encore par l'azote et le phosphore à l'origine du phénomène d'eutrophisation des eaux. On parle aussi de pollution thermique, voire biologique. Ces différentes formes de pollution n'ont pas nécessairement les mêmes causes ni les mêmes conséquences sur les cours d'eau.

Eaux troubles/eaux claires

On n'aime pas les eaux troubles, c'est un signal visuel négatif... alors que l'eau claire est assimilée à la pureté ! Oui, mais voilà, il n'y a pas corrélation entre la couleur de l'eau et son niveau de pollution. Une eau peut être trouble pour diverses raisons : elle est chargée en détritus issus d'activités urbaines ou industrielles, ou de vase provenant d'activités extractives dans le cours du fleuve (orpaillage, extraction de granulats) ou encore parce qu'elle comporte naturellement de fortes charges de matériaux en suspension (MES). Ainsi, l'eau de la Seine est marron en hiver parce qu'elle est chargée de limon après avoir traversé 400 km de terres agricoles, mais elle est verte en été car elle est colorée par les algues qui se sont développées au printemps. Une eau chargée de fines particules en suspension est trouble, et peut être déplaisante à l'œil, mais elle n'est pas pour autant polluée ! Ce limon provient simplement du lessivage et de l'érosion des sols meubles. Inversement, une eau claire peut être fortement chargée en substances toxiques dissoutes et donc invisibles...

La pollution visuelle est l'un des aspects qui frappe les imaginations car les « ofni » (objets flottants non identifiés !) qui dérivent à la surface du cours d'eau donnent l'impression que l'eau est sale et polluée. La propreté des eaux de surface de la Seine est pourtant l'une des préoccupations du SIAAP (Syndicat Interdépartemental pour l'Assainissement de l'Agglomération Parisienne), créé en 1970. Il a implanté en divers endroits de l'agglomération parisienne des minibarrages, destinés à retenir les déchets flottants qui sont ensuite enlevés par une embarcation, *Le Silure*.

En matière de pollution chimique, on distingue les pollutions ponctuelles des pollutions diffuses. Les pollutions ponctuelles sont celles dont on peut identifier une origine assez précise : collecteur d'égout, rejet industriel, effluents d'élevage, etc. On peut en principe remédier à ces pollutions par la mise en place, à la source, de dispositifs de dépollution adaptés, même si cela a un coût. Et puis il y a les pollutions diffuses, celles qui proviennent du lessivage des sols agricoles ou urbains, ou qui viennent de l'atmosphère. Et là, on est

bien plus désarmés ! C'est notamment à ces pollutions diffuses que les agences de l'eau sont actuellement confrontées et se trouvent bien embarrassées pour y faire face. Le seul vrai moyen d'y remédier serait de les supprimer à la source...

On parle également de pollutions permanentes (rejets domestiques d'une grande ville par exemple) ou périodiques (comme les variations saisonnières de rejets polluants liées aux afflux touristiques, ou aux crues), et de pollutions accidentelles ou aiguës. Ces dernières correspondent à des déversements intempestifs de produits toxiques d'origine industrielle ou agricole, ou à des lessivages des sols urbains consécutifs à de fortes pluies. Ces pollutions accidentelles peuvent provoquer des chocs polluants considérables, avec des mortalités massives de poissons.

La nature des polluants

Les substances polluantes sont généralement classées en différents groupes selon leur composition, leurs usages, leurs propriétés, leurs effets :

- les matières organiques ;
- les micropolluants : toxiques susceptibles d'induire des effets négatifs dans le milieu à faible ou très faible concentration. On distingue les micropolluants minéraux (métaux et métalloïdes) des micropolluants organiques (hydrocarbures, pesticides) ;
- les pesticides : classés par famille d'usages (herbicides, fongicides, insecticides, molluscicides, acaricides...) ou selon leur composition chimique : organochlorés, phosphorés, azotés, substances minérales...
- les détergents et plastifiants : les alkylphénols, phtalates, bisphénol A ;
- les biocides (formol) et désinfectants ;
- les produits pharmaceutiques (4 000 matières actives autorisées en Europe) ;
- les perturbateurs endocriniens (HAP, PCB...) : agents capables d'interférer avec l'action des hormones naturelles responsables de l'équilibre chimique, de la reproduction, du développement des êtres vivants ;
- les substances dites « émergentes » : substances pour lesquelles les connaissances actuelles ne suffisent pas à évaluer la toxicité et les risques liés à leur présence dans l'environnement. Il s'agit par exemple de certaines hormones, de composés pharmaceutiques ou de produits de beauté tels que parabènes, conservateurs, muscs issus de l'industrie..., sans oublier les nano-particules !

Brève histoire de la pollution des cours d'eau

Ce serait une grossière erreur de penser que la pollution des eaux est un phénomène récent. L'ordonnance de Colbert sur les eaux et forêts de 1669 stipulait déjà que « quiconque aura jeté dans les eaux des drogues ou appâts qui sont de nature à enivrer le poisson ou à le détruire sera puni [...] ». Il s'agissait alors de lutter contre des pêcheurs peu scrupuleux, prêts à utiliser tous les moyens pour voler le poisson des seigneurs et du roi. En réalité, différentes activités agricoles, artisanales ou industrielles ont largement contribué par le passé à polluer les eaux des rivières.

Au Moyen Âge, la qualité de l'eau, variable selon les formations géologiques traversées, s'apprécie localement en fonction des usages textiles, piscicoles ou industriels. Guillaume (1993) parle des « métiers de la rivière » installés pour transformer les matières premières comme la laine, les peaux, le lin et le chanvre. Chaque ville acquiert sa réputation avec le grand teint et le velours de ses tissus. Le grand teint dépend du dosage des colorants mais aussi de la minéralogie des eaux que les artisans savent utiliser judicieusement. Globalement, les « métiers drapants » n'ont qu'un impact limité sur la qualité des milieux aux XII^e et XIII^e siècles. Quant au traitement du cuir, le tannage utilise surtout le tan, extrait de l'écorce de chêne broyée au moulin à tan, qui possède de bonnes propriétés antipolluantes et participe à la clarification des eaux urbaines. Les produits employés par les artisans (alun, tan, etc.) étaient également fongicides et favorisaient de fait l'auto-épuration de la rivière. Au total, « la pollution hydrique d'origine artisanale s'avère très modérée à cette époque. La chimie utilisée n'est pas neutre, elle est acide ou basique et favorise ainsi les précipitations organiques, emportées hors des murs par la vitesse du courant. Cette auto-épuration sensible de la rivière ne nuit pas à la pisciculture, qui reste une des bases essentielles de l'alimentation urbaine de cette époque » (Guillaume, 1993).

Mais la nature des pollutions a changé au cours des siècles. Pendant longtemps, c'est la pollution organique qui a constitué la source majeure de pollution des cours d'eau, notamment dans les villes : excréments de toute nature, notamment à l'époque où les chevaux vivaient encore avec les hommes, rejets d'abattoirs, rouissage du lin,

rejets de laiteries, etc. La pollution des rivières par les matières organiques a eu, à certaines époques, des effets désastreux. Au début du XIX^e siècle, par exemple, divers écrits parlent des eaux boueuses et noirâtres de la Seine. L'installation du tout-à-l'égout qui se déverse directement dans le fleuve va amplifier cette dégradation. En 1892, à la suite d'un étiage sévère, *Le Petit Journal* publie un article où l'on peut lire : « La Seine est contaminée, perdue d'immondices. C'est abject... Plusieurs tombereaux de poissons morts ont été enlevés de la Seine à Asnières, à Argenteuil, et en aval de la ville ». Depuis, la pollution organique des eaux continentales a fortement diminué grâce aux stations d'épuration des eaux usées urbaines, et malgré le fait que toutes ces eaux ne soient pas encore traitées.

Cette pollution organique a été supplantée progressivement par les pollutions chimiques industrielles puis, après la Seconde Guerre mondiale, par tous les pesticides et les engrais de synthèse qui sont apparus à l'époque prometteuse de la révolution verte. Par la suite, on a vu également apparaître la pollution radioactive, et maintenant on agite le spectre des pollutions émergentes dues aux résidus médicamenteux ou aux nano-technologies. Il y a donc eu un élargissement progressif des sources de pollution au cours du temps (figure 12.1), alors que, simultanément, des efforts importants étaient réalisés pour réduire certaines d'entre elles.

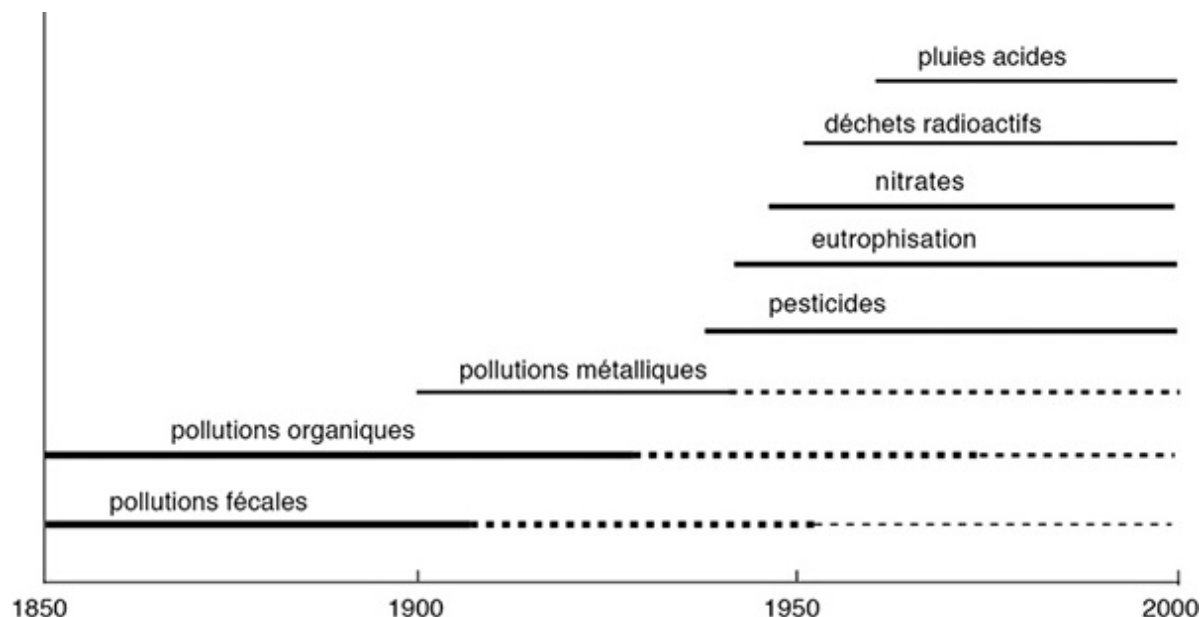


Figure 12.1 Chronologie schématique des principales sources de pollution des eaux continentales dans les pays industrialisés.

Au XIX^e siècle, on assiste en effet à la montée en puissance de l'industrialisation qui va se manifester par des rejets toxiques de plus en plus abondants dans les cours d'eau. Avec l'avènement des énergies fossiles, ces cours d'eau ne sont plus la principale source d'énergie pour les industriels, et ils changent de statut : ils sont maintenant considérés comme des canaux de collecte et d'évacuation des eaux usées et des déchets industriels. Canaux et cours d'eau deviennent partie intégrante du paysage industriel et de son bon fonctionnement. On voulait croire, en effet, qu'une usine en bon état de marche n'avait pas d'incidence négative sur l'environnement. Ou du moins on faisait comme si... Il y avait bien de temps en temps un événement de type catastrophique qualifié d'imprévisible, qui tuait quelques tonnes de poissons. Mais on n'était pas loin de penser qu'il s'agissait d'une catastrophe « naturelle », au même titre qu'une inondation. Dans ce contexte « accidentel », personne n'est responsable et les industriels étaient ainsi couverts, même si l'accident était dû à la négligence ou à l'absence de mesures de sécurité. Par ailleurs, on passait sous silence les déversements répétés qui vont petit à petit modifier le fonctionnement des cours d'eau, sans crises majeures. Mais parfois, c'était bien

visible ! Une lettre du sous-préfet de Béthune en 1854 à propos de l'écoulement des eaux sales dans le canal d'Aire à La Bassée précise par exemple que « les eaux du canal sont entièrement corrompues par leur mélange [...] les eaux impures s'y répandent des fabriques d'alcool et de sucre et leur décomposition est telle que tout le poisson est mort et qu'elles infectent l'air aux alentours. Il n'est plus possible de s'en servir pour aucun usage, il y a péril à circuler dans leur atmosphère putride » (cité par Malange, 2007).

Est-ce que la société s'accommodait pour autant de la situation ? Probablement pas, à l'exemple des pêcheurs professionnels et amateurs qui, depuis longtemps, dénonçaient les pollutions industrielles. Mais l'industrialisation était synonyme de progrès, et l'activité économique devait permettre d'améliorer les conditions de vie des citoyens. On comprend pourquoi les autorités ont mis tellement de temps à réglementer les rejets et à lutter contre les pollutions industrielles. Pendant longtemps, l'économie prime sur l'environnement !

Cependant, la pollution des cours d'eau dans les régions tempérées et industrialisées a pris une ampleur nouvelle et inquiétante dans la seconde moitié du ^{xx}e siècle, avec notamment la mise sur le marché des pesticides et l'augmentation des rejets d'origine industrielle ou urbaine qui saturent les capacités d'auto-épuration des eaux, ou qui ne sont pas biodégradables. Les vallées fluviales sont ainsi devenues des collecteurs de substances indésirables qui, transportées vers le littoral, sont venues s'accumuler dans les baies. Cette phase du « tout à la rivière » a duré jusqu'aux années 1960, période où les traitements et/ou le recyclage des eaux usées domestiques puis industrielles se mettent en place. Les premières réglementations généralisées liées à la qualité du milieu aquatique se développent avec la mise en place des agences de bassin au début des années 1970.

L'exemple du Rhin est édifiant. Dans la seconde moitié du ^{xx}e siècle, il est devenu un véritable égout, charriant, en moyenne, sous forme de matières en suspension et de produits solubles, près de 20 millions de tonnes de déchets organochlorés, d'hydrocarbures, de

sels dissous provenant de l'exploitation des potasses, de métaux lourds déversés entre Bâle et Rotterdam par des entreprises suisses, françaises, allemandes et néerlandaises. En 1972, un rejet accidentel de mercure et d'insecticides par une usine chimique de Mayence a vidé le fleuve d'une grande partie de sa faune piscicole jusqu'à son embouchure. Les conséquences sur la faune aquatique sont nettes : alors qu'en 1885 on pêchait près de 150 000 saumons par an dans le Rhin, et seulement 3 000 en 1959, aujourd'hui, on essaie à grand-peine de les faire revenir. Entre-temps, le Rhin subit les conséquences de l'accident Sandoz en 1986.

L'accident Sandoz et la pollution accidentelle du Rhin

Dans la nuit du 31 octobre 1986, un feu se déclara dans un hangar des établissements Sandoz, près de Bâle (Suisse), qui contenait divers produits chimiques et agro-chimiques. L'incendie provoqua un épais nuage de gaz toxique qui conduisit les autorités bâloises à déclencher un plan d'urgence prévu pour ce type de catastrophe.

Le 1^{er} novembre, l'alerte est levée... mais on avait « oublié » que les tonnes d'eau déversées pour maîtriser l'incendie avaient entraîné, par dilution, dans le Rhin tout proche, environ 1 200 tonnes d'insecticides et de pesticides, 2 tonnes de mercure, 15 tonnes de bleu de Berlin et de rhodamine B. La sanction fut rapide. Quelques heures seulement après l'accident, plusieurs centaines de milliers d'anguilles flottaient en surface jusqu'à Mayence, soit plus de 250 kilomètres en aval de l'origine de la pollution. Sans compter la mort de quantité d'invertébrés aquatiques, beaucoup moins médiatiques !

Des analyses de l'eau permirent de suivre le passage de l'onde toxique. Mais on constata, par la même occasion, que beaucoup d'entreprises ayant un émissaire qui conduisait au Rhin avaient profité de l'accident pour larguer leurs produits toxiques dans le fleuve ! Les riverains furent privés d'eau potable, de nombreuses brasseries et industries agroalimentaires cessèrent temporairement leurs activités. Car c'est dans le Rhin que l'on puisait l'eau, maintenant contaminée.

Le grand public fut frappé par les grandes quantités de poissons morts sortis du fleuve, des quantités que l'on ne soupçonnait pas à cette époque, où le Rhin passait encore pour le cloaque de l'Europe.

La création d'un fond Sandoz en 1987 permit de mettre en place des recherches sur la connaissance du fonctionnement de l'écosystème fluvial. Dans les deux mois suivant l'accident, les ministres de l'environnement des pays riverains décidèrent d'un vaste programme de résurrection du Rhin. Ce plan d'action semble avoir porté ses fruits : la qualité de l'eau s'est améliorée, la faune s'est rétablie.

L'accident s'est révélé bénéfique par son impact politique. Mais est-ce vraiment un *happy end* ?

En 2000, La DCE change de braquet en affichant des obligations de résultats. Il ne suffit plus d'afficher des objectifs, il faut des résultats tangibles... N'en déplaise à certaines Cassandres, la situation de nos rivières s'améliore, même si des efforts restent bien évidemment à faire. Une preuve parmi d'autres, on recommence, timidement, à voir des saumons dans la Seine et dans le Rhin !

L'approche normative de la pollution

Les recherches sur les pollutions sont justifiées par les risques qui sont encourus : des risques sanitaires et des risques écotoxicologiques. Le risque sanitaire, qui est souvent associé à la notion de santé publique, concerne les effets, directs ou indirects, immédiats ou différés, des substances chimiques sur la santé humaine. Le risque écotoxicologique renvoie quant à lui aux effets nocifs de ces substances sur la biodiversité et le fonctionnement des écosystèmes.

Pour traiter des risques sanitaires et écotoxicologiques, il faut disposer d'outils d'évaluation performants et validés. Ces outils concernent notamment la mesure du niveau d'exposition des populations humaines et/ou des écosystèmes aux agents chimiques. Il faut pour cela déterminer la nature et les concentrations en agents chimiques dans l'environnement et, d'autre part, évaluer le niveau d'effet potentiel des agents concernés sur les populations et/ou les écosystèmes. Vaste programme, bien difficile à réaliser !

Fort heureusement, les techniciens et les gestionnaires aiment les normes. Elles peuvent donner l'impression de sérieux et d'objectivité, en traitant l'ensemble des situations de manière équitable. Pour les experts, l'objectif est de se mettre d'accord sur des normes et d'harmoniser les protocoles afin de déterminer des classes de qualité des eaux et des milieux aquatiques. Sur ces bases, on légifère et on dimensionne les traitements des eaux usées pour répondre aux

normes. Tout manquement est en principe pénalisé... Techniquement, c'est simple, même si on ne sait pas toujours éliminer efficacement certains polluants. Mais le diable réside dans le détail, l'établissement des normes !

Les normes en matière de qualité des rivières sont largement conditionnées, en France, par la réglementation européenne. Par exemple, la grande affaire de la Directive cadre sur l'eau, ce sont les normes de qualité environnementale (NQE). Une NQE représente la concentration d'un polluant ou d'un groupe de polluants dans l'eau, les sédiments ou le biote qui ne doit pas être dépassée afin de protéger la santé humaine et les écosystèmes. Les NQE sont basées sur le calcul de « concentrations prédites sans effet », définies comme la concentration d'une substance chimique au-dessous de laquelle il ne devrait pas y avoir d'effets nocifs sur les organismes des écosystèmes considérés (annexe I du règlement Reach). La Directive cadre sur l'eau décrit la procédure d'établissement des NQE pour les substances organiques dans la colonne d'eau, mais reste floue concernant l'étude des sédiments ou l'empoisonnement secondaire. En outre, beaucoup d'experts s'accordent à considérer que les NQE, basées pour la plupart sur des bio-essais conduits en laboratoire, sont très peu représentatives du risque écologique lié à la contamination du milieu naturel, notamment pour les substances susceptibles de bio-accumulation et de bio-amplification dans les réseaux trophiques aquatiques. Mais ce travail normatif mobilise beaucoup d'énergie !

L'Association française de normalisation (Afnor) a mis en place une commission générale « écotoxicologie » et une commission « indice biotique » qui fonctionnent depuis 1968, pour assurer la publication de normes françaises dans le domaine de la qualité des eaux de surface, et suivre les travaux de normalisation au niveau international. Cette commission s'est rapidement orientée vers l'utilisation des communautés de macro-invertébrés pour évaluer la qualité biologique des cours d'eau. L'IBGN (Indice Biologique Global Normalisé), publié en 1992, est la première mesure indicielle applicable aux eaux superficielles ayant fait l'objet d'une normalisation officielle par l'Afnor. Un nouvel indice conforme aux

exigences de la DCE et compatible avec les différentes méthodes utilisées en Europe a été proposé en 2007 (BO du 11/04/2007) et a été traduit à son tour aux normes Afnor.

Quatre grands défis scientifiques concernant les polluants chimiques dans les eaux

Les rejets de composés chimiques dans l'environnement sont inhérents à beaucoup d'activités humaines. Ils peuvent être volontaires ou accidentels, ou acceptés dans des limites réglementaires, conséquences d'activités jugées indispensables à un moment donné. Il y a bien sûr des catastrophes industrielles largement médiatisées, aux conséquences bien visibles. Ce ne sont néanmoins qu'un épiphénomène par rapport à la contamination chronique par des résidus chimiques, qui représente potentiellement une tout autre menace. Il s'agit ici d'une exposition sur le long terme à des substances artificielles qui peuvent être à l'état de trace, dont la présence dans le milieu reste parfois insoupçonnée (tout au moins tant que les méthodes d'analyse ne permettent pas de les détecter) et dont les effets sur l'environnement ne sont pas connus ni prévisibles.

Un défi analytique : identifier et déterminer les concentrations en contaminants

On dénombre environ 100 000 molécules chimiques, commercialisées sous plus de 1 million de formulations diverses. On estime qu'environ 10 000 substances de synthèse sont en vente en Europe, sans que l'on sache exactement, pour beaucoup d'entre elles, quelles sont leurs conséquences sur les écosystèmes aquatiques. En raison de la grande diversité des structures chimiques et des très faibles concentrations, l'identification et le dosage des contaminants représentent un défi analytique considérable. Il s'agit parfois de détecter quelques nanogrammes (10^{-9} g) d'un herbicide ou quelques picogrammes (10^{-12} g) d'un congénère du PCB dans un litre d'eau.

Depuis les années 1990, les méthodes d'analyse se sont considérablement perfectionnées. Mais la question des moyens analytiques est également couplée à celle des moyens financiers nécessaires pour analyser des milliers de substances, dans des milieux très divers, et dont la concentration est variable dans le temps. Sans oublier le fait que de nouvelles substances apparaissent sur le marché, et que chacune d'entre elles doit faire l'objet d'une recherche analytique spécifique. Les progrès dans les domaines de la toxicologie et de l'écotoxicologie sont donc étroitement associés au développement des moyens d'analyse chimique.

La contamination des cours d'eau par les pesticides en 2011

En 2011, la présence de pesticides a été recherchée sur 2 360 stations de surveillance de la qualité sur les cours d'eau en France (dont l'outre-mer). Sur ces stations, en moyenne :

- près de 70 % présentent une concentration totale en pesticides inférieure à 0,5 µg/L ;
- 30 % présentent une concentration comprise entre 0,5 µg/L et 5 µg/L ;
- moins de 1 % présentent une concentration supérieure à 5 µg/L.

Plus particulièrement, en métropole :

- 550 molécules sont recherchées dans les cours d'eau, dont 377 sont décelées au moins une fois ;
- 7 % des points de mesure n'ont pas mis en évidence la présence de pesticides (contre 9 % en 2010) ;
- 19 % des points présentent plus de 20 pesticides (contre 15 en 2010) ;
- 4 % des points dépassent les normes de qualité environnementale fixée dans le cadre de la Directive cadre sur l'eau ;
- les pesticides les plus quantifiés sont le glyphosate et l'atrazine déséthyl.

(D'après le site Eaufrance, SOeS, 2013)

Un défi scientifique : comment suivre le cheminement et les transformations des contaminants dans l'environnement

Une fois introduits dans l'environnement, les contaminants chimiques vont se disperser dans les différents compartiments du bassin versant tels que l'eau, l'air, les sols, les sédiments, la biomasse. Les principaux processus en jeu sont :

- le transport, qui va déterminer la distribution spatiale et temporelle du produit et peut utiliser différentes voies : dispersion, volatilisation et transport aérien, mise en solution et transport par lessivage ou ruissellement, sédimentation, érosion et remise en suspension, etc. ;
- les transformations par biodégradation, hydrolyse, photolyse, etc., du produit initial. Elles dépendent des caractéristiques des produits et de l'environnement dans lequel il se trouve. Ces transformations donnent des produits de dégradation intermédiaires qui peuvent parfois être plus toxiques que le contaminant lui-même. Certains produits se dégradent rapidement (les organophosphorés, par exemple) alors que d'autres persistent très longtemps (comme le DDT ou le PCB) ;
- la bioaccumulation, qui s'effectue de manière active ou passive dans les organismes vivants. Ce phénomène dépend de la biodisponibilité de la substance, qui est elle-même fonction de sa nature chimique et des conditions physico-chimiques du milieu.

Ainsi, le cadmium (résidu de la métallurgie du zinc), le cuivre (utilisé pour le traitement des vignes) ou les herbicides (employés en agriculture ou pour l'entretien de la voirie et des voies de chemin de fer) vont être transportés dans les sols ou dans les eaux, fixés ou relargués, complexés par des constituants des sols ou des eaux, ou métabolisés par des micro-organismes. Autrement dit, le composé qui est rejeté dans l'environnement change plusieurs fois de nature chimique, se fixe plus ou moins durablement dans les sols ou dans les boues, entre dans les chaînes trophiques et devient biodisponible sous une forme qui est rarement celle du départ. Ce qui, on le comprend aisément, ne facilite pas le traçage des éléments toxiques.

Contre les pollutions organiques, la rivière fait de l'autoépuration

Tout système naturel est capable de recycler, jusqu'à un certain point, la matière organique qu'il produit ou qui est introduite dans le milieu. L'autoépuration est la capacité d'un milieu à éliminer, du simple fait de son fonctionnement naturel, des substances étrangères le plus souvent de nature organique. Le temps mis par le milieu, ou la distance nécessaire pour éliminer les substances organiques dans le cas des eaux courantes, mesure la capacité d'autoépuration qui dépend du niveau d'activité des

végétaux et des micro-organismes présents dans l'eau et susceptibles de dégrader les substances polluantes.

Lorsque les apports sont trop importants, la matière organique en excès ne peut plus être dégradée, et la décomposition s'accompagne d'une baisse de la teneur en oxygène dissous, qui peut aller jusqu'à l'asphyxie de la faune en place. Les eaux des rivières privées d'oxygène peuvent également amorcer un processus de fermentation à l'origine d'odeurs putrides (production de méthane et d'hydrogène sulfuré) ou de la production de composés toxiques pour la faune aquatique comme l'ammoniac ou les nitrites. Dans de nombreuses rivières à l'aval d'agglomérations importantes, on observe ainsi des teneurs en ammoniac incompatibles avec une vie piscicole normale.

Un défi écotoxicologique et épidémiologique

L'écotoxicologie s'est développée au début des années 1960 lorsque le rêve prométhéen de maîtrise de la nature, qui s'était ébauché avec la découverte des pesticides, fut mis à mal par la découverte des effets toxiques de ces produits dans l'environnement, notamment sur la faune non-cible. Ainsi, le DDT qui avait laissé espérer l'éradication du moustique vecteur du paludisme et de nombreux autres insectes indésirables fut rapidement proscrit en Europe. Son utilisation dans certains pays en développement reste cependant possible pour lutter contre le paludisme.

Pour la plupart des composés chimiques présents dans l'environnement, on ne possède que des informations très parcellaires sur leur toxicité potentielle vis-à-vis des organismes vivants. Beaucoup de recherches dites écotoxicologiques sont en réalité des études de toxicologie menées au laboratoire, qui consistent à évaluer les effets d'un contaminant X sur une espèce Y. Une situation très théorique car, sur le terrain, on observe souvent la présence simultanée de plusieurs contaminants. Or il est quasiment impossible de prédire la toxicité des mélanges de produits à partir de la connaissance de la toxicité individuelle de chacun des produits. On évoque de manière récurrente la possibilité d'effets de synergie lorsque plusieurs contaminants sont présents en même temps. Cette « menace » est régulièrement brandie depuis des décennies par les spécialistes, mais on a beaucoup de difficultés à étudier les conséquences de ces « cocktails » de polluants en milieu naturel. Et si on ajoute à ce casse-tête la question des produits de dégradation

des contaminants, l'équation est quasi insoluble dans l'état de nos connaissances et de nos équipements techniques. Mais on continue à brandir cette menace hypothétique qui sert d'argument à certains groupes de pression pour empêcher l'utilisation de pesticides, en l'absence de connaissances.

L'essentiel des études écotoxicologiques porte sur les effets induits des polluants sur la biologie, la physiologie, voire les génomes des espèces aquatiques. Ce sont en quelque sorte des « chroniques d'une mort annoncée » ! Avec un paradigme dominant qui est de montrer que ces produits sont nocifs, à partir d'une certaine dose, et de décrire leurs effets délétères sur des modèles biologiques. Aux spécialistes des normes de prendre le relais... Nous disposons de quantité de travaux de toxicologie qui ont coûté très cher mais dont on ne sait que faire sur le terrain. On aimerait en savoir plus sur les conséquences des contaminants, en milieu naturel, sur la dynamique des populations animales et végétales. Ces études sont rares, car délicates à mener, et grandes consommatrices de temps et d'argent. Or, sur le terrain, la réalité est parfois bien différente de celle du laboratoire.

Les espèces font-elles de la résistance ?

En 1986, la « pollution Sandoz » à laquelle l'anguille paya un lourd tribut, révéla l'existence dans le Rhin d'une faune aquatique plus diversifiée qu'on n'aurait pu s'y attendre, compte tenu de l'état du fleuve. Et, dans l'estuaire de la Seine, réputé l'un des plus pollués d'Europe, il y a des biomasses importantes du crustacé planctonique *Eurytemora affinis*, et une faune benthique assez diversifiée. Invertissons les paradigmes de la toxicologie, et posons-nous la question, tout aussi stimulante sur le plan scientifique : comment des espèces peuvent-elles se développer dans de tels milieux ? Quelles sont leurs capacités d'adaptation ? On sait que les micro-organismes ont d'énormes capacités d'adaptation et sont capables de dégrader les polluants. Mais les invertébrés aussi font de la résistance... Chez les moustiques, ou chez les simules, par exemple, on a mis en évidence l'existence de gènes de détoxification qui leur permettent de résister à certains types d'insecticides. Alors qu'en est-il pour la faune aquatique ? Tout laisse penser que c'est possible. Mais en réalité, on n'a pas beaucoup de réponses à cette question car c'est un domaine complètement ignoré par la recherche, obnubilée par les études d'impact !

Domage, car étudier les capacités adaptatives de systèmes écologiques, ce serait envoyer un message plus positif que les chroniques d'une mort annoncée ! Par ailleurs, si des espèces sont capables de s'adapter, quelle confiance accorder à ces fameux indicateurs biotiques que l'on a érigé en juges de paix pour apprécier la qualité des eaux ?

Un défi social : réduire les pollutions à la source

On peut faire toutes les analyses d'eau que l'on veut, cela ne résoudra pas le problème de la présence des contaminants dans l'eau. C'est bien là que le bât blesse dans le domaine de l'écotoxicologie : on peut déceler la présence des contaminants, évaluer leur impact sur la flore, la faune et la santé, suivre l'évolution de leur concentration dans le milieu naturel, mais on ne peut pas faire grand-chose pour les éliminer une fois qu'ils sont dans la rivière !

Certes, et ce n'est pas rien, de gros efforts ont été réalisés par les agences de l'eau en vue de réduire les sources de pollutions ponctuelles, notamment les rejets domestiques et industriels. De nombreuses stations d'épuration ont ainsi été construites, et leur efficacité est réelle. Mais le problème auquel les agences sont actuellement confrontées, c'est la pollution diffuse. Et là, on ne sait pas très bien faire !

Pollueur-payeur

Le principe pollueur-payeur a été adopté par l'OCDE en 1972, en tant que principe économique visant l'imputation des coûts associés à la lutte contre la pollution. Il stipule que les coûts de prévention, de réduction, de lutte contre la pollution, de dépollution et de restauration doivent être pris en charge par le pollueur. Le principe pollueur-payeur est devenu, avec la loi Barnier de 1995, un des grands principes généraux du droit de l'environnement français. Son application reste néanmoins plus aléatoire !

Osons une lapalissade : le meilleur moyen de réduire la contamination chimique dans l'environnement est de contrôler la pollution à la source. Une véritable politique de lutte contre la pollution serait de faire du préventif, non du curatif. L'expérience a montré que l'interdiction d'utiliser certains produits chimiques particulièrement toxiques pouvait donner de bons résultats. Le bannissement de certains produits se traduit effectivement par une baisse de leur concentration dans l'environnement, même si cela peut prendre parfois quelques dizaines d'années, en fonction de la rémanence de ces produits. L'exemple de l'atrazine, qui disparaît des analyses au bout de quelques années, donne des raisons de penser

que la prévention est efficace. Mais ce n'est pas le cas de tous les polluants (à l'exemple des PCB), et certainement pas suffisant.

Les PCB

Les PCB ou polychlorobiphényles (le pyralène, le phénochlor) sont des molécules voisines du DDT sur le plan de la structure chimique et de leurs propriétés écotoxicologiques. Ils ont été utilisés depuis les années 1930 par de nombreuses industries : électrotechnique (transformateurs électriques, condensateurs), peintures, matières plastiques, etc. Les PCB peuvent être stockés dans les graisses des organismes vivants. En 1964, la détection de résidus de PCB dans l'environnement a conduit, dans les années 1970, à restreindre leur usage dans la plupart des pays industrialisés. La production des PCB a été arrêtée en France en 1987, mais ils sont très rémanents et de grandes quantités sont stockées dans les sédiments.

En 1985-1986, des analyses révélèrent des teneurs en PCB bien supérieures au taux admis dans des poissons et des mollusques du Rhône en amont de Lyon. On identifia la source de contamination, une usine de retraitement et d'incinération des déchets dangereux, ce qui déclencha une série de mesures de la part des pouvoirs publics, visant notamment à réduire très fortement les rejets de l'usine. Le pêcheur professionnel à l'origine des analyses qui ont mis en évidence la pollution, cessa son activité sans aucune compensation. Cette contamination n'a pas fait l'objet de beaucoup d'informations de la part des instances de l'État !

En 2005, de nouvelles analyses, une fois encore à l'initiative d'un pêcheur, ont révélé chez des poissons du Rhône des quantités de PCB jusqu'à 40 fois supérieures aux normes admises pour une consommation quotidienne. La consommation des poissons pêchés dans le Rhône est alors interdite sur 300 kilomètres du fleuve, de l'amont de Lyon à son embouchure en Camargue.

Une telle politique est difficile à mettre en œuvre. Sur le plan technique d'abord, on ne peut se passer complètement de pesticides. Seuls quelques esprits mal informés demandent leur disparition totale. L'agriculture n'y survivrait pas ! Mais, inversement, un usage inconsidéré n'est plus acceptable pour la société. C'est pourquoi on tente d'en limiter l'utilisation.

Le contexte social et politique récent appelle les acteurs du monde agricole à réduire de façon drastique l'emploi des produits phytosanitaires. Les engagements du Grenelle de l'environnement se sont notamment traduits, pour les produits phytosanitaires, par la mise en œuvre du plan ÉcoPhyto 2018, qui vise à réduire l'utilisation des produits phytosanitaires de 50 %, si possible, d'ici à 2018, tout en préservant la compétitivité de l'agriculture. Il prévoit pour cela toute

une série de mesures dont l'objectif est d'aider les agriculteurs à diminuer la consommation de ces produits, à mieux les utiliser, et à disposer de méthodes alternatives le plus rapidement possible. Ne rêvons pas, les 50 % restent un objectif bien ambitieux qui ne sera pas atteint ! Mais apprécions l'aspect positif de la démarche !

Il faut également mettre en place une politique de prévention en ce qui concerne le relargage de contaminants par les sédiments, à l'exemple actuel des PCB. Et sensibiliser les citoyens à un usage parcimonieux des produits qui leur assurent un certain confort immédiat mais sont tout aussi toxiques que ceux des professionnels. On voit se dessiner ici les conflits d'intérêt potentiels entre des industries puissantes qui cherchent à vendre leurs produits, tout en continuant à innover, et les citoyens (au sens large) soucieux de protection de l'environnement et de sécurité sanitaire.

Reach

Le règlement européen Reach (Registration, Evaluation and Autorisation of CHemicals) est entré en vigueur le 1^{er} juin 2007. Il va permettre, dans les dix prochaines années, de recueillir un grand nombre d'informations sur les propriétés des substances chimiques utilisées. Ses objectifs sont de :

- combler le manque de connaissances sur les risques environnementaux et sanitaires des substances chimiques, en particulier les plus anciennes introduites sur le marché européen avant 1981 et sur lesquelles nous avons très peu d'informations ;
- confier la responsabilité de l'évaluation et de la gestion des risques des substances aux entreprises productrices et importatrices et non plus aux autorités administratives. C'est le « renversement de la charge de la preuve » ;
- favoriser une politique d'innovation et de substitution des substances les plus dangereuses, notamment *via* la procédure d'autorisation.

Avant son adoption, Reach a fait l'objet de vives discussions entre les industriels et les politiques. Les ambitions initiales ont été revues nettement à la baisse. Six substances dangereuses ont été proposées au retrait en 2011... Affaire à suivre !

Les activités polluantes sont-elles le prix à payer au développement ?

La collusion entre l'État et les industriels s'est manifestée jusque dans les années 1960 par une grande clémence vis-à-vis des rejets

polluants et par l'absence de réglementation coercitive. Sommes-nous sortis de cette connivence ? Au-delà des grandes déclarations de principe des politiques et d'une législation en apparence plus sévère, on peut s'interroger. Certes, des gros efforts ont été réalisés, notamment en matière d'équipements de dépollution. Mais, sur la question des PCB, des phosphates des lessives, des pollutions aux hydrocarbures, etc., on s'aperçoit que la pression des lobbies industriels reste forte. La question de la pollution agricole est plus récente. C'est après la Seconde Guerre mondiale que les engrais de synthèse et les pesticides sont apparus et ont été utilisés en masse.

Les pêcheurs sportifs, premiers lanceurs d'alerte contre la pollution industrielle

Les industriels ont longtemps perpétué le mythe selon lequel la pollution industrielle était un événement exceptionnel et imprévisible, à l'image des catastrophes naturelles. Dans ce contexte, personne n'est responsable... À l'origine de la catastrophe, il y aurait un dysfonctionnement purement accidentel car, on le sait bien, une usine en bon état de marche ne connaît pas ce genre d'événement ! Cette fiction allait bien évidemment à l'encontre des dommages quotidiens ou récurrents occasionnés par les industries, et notamment des déversements répétés dans les rivières (Garcier, 2005).

Entre le milieu du ^{xix}^e siècle et le début du ^{xx}^e, la pollution des eaux générée par les activités industrielles, de plus en plus nombreuses, a suscité d'intenses débats. La disparition du poisson affecte en premier lieu les pêcheurs professionnels. Des affaires d'empoisonnement des cours d'eau par l'industrie éclatent régulièrement : en 1857, les pêcheurs et les brasseurs de Douai qui utilisent l'eau de la Scarpe se plaignent de ce que les usines de potasse et les fabriques de sucre et d'alcool « rejettent dans la rivière de grandes quantités d'eaux viciées par des principes nuisibles » (cité par Malange, 2007). Mais, peu organisés et sans réel poids politique, les pêcheurs professionnels ne sont pas entendus, d'autant

que le développement industriel est, à cette époque, une priorité nationale.

Simultanément, les nouvelles pratiques de pêche sportive importées d'Angleterre favorisent la constitution de clubs (figure 12.2), regroupant des adhérents aisés et relativement influents (Barthélemy, 2003). La pollution des cours d'eau par l'industrie va rapidement devenir un sujet récurrent de conflit entre les pêcheurs amateurs et les industriels qui se souciaient fort peu d'environnement. À partir du milieu des années 1860, les rejets d'eaux industrielles dans les rivières sont dénoncés comme une des causes principales de la disparition du poisson.

La naissance du Fishing Club de France en 1908 est une étape importante dans la sensibilisation des masses à la question des pollutions. Son slogan, « l'eau pure pour tous ! », résume ses objectifs : créer une vaste cohésion nationale contre la dégradation systématique des cours d'eau tout en protégeant la pêche. Sa revue, *La Pêche illustrée*, éditée de 1909 jusqu'au milieu des années 1980, connaît un grand succès. En 1909, pour la première fois en France, le Fishing Club obtient la condamnation d'un industriel. C'est alors que le mot pollution commence à être couramment utilisé. Au début du xx^e siècle, les pêcheurs à la ligne sont donc (déjà...) des lanceurs d'alerte, qui adressent de plus en plus de pétitions argumentées aux instances administratives (maires, préfets). Cette contestation trouve un écho auprès d'une population plus large et plus modeste qui pratique la pêche dans les eaux domaniales le dimanche, et pour qui cette activité constitue un complément alimentaire à une époque où le poisson de mer n'est pas encore répandu sur les marchés (Barthélemy, 2003).



Figure 12.2 Société de pêche et de pisciculture de Roanne et du Coteau.

Au début du xx^e siècle, la pêche à la ligne était très populaire, et de nombreuses sociétés de pêche regroupaient les amateurs participant à des activités festives. Mais les sociétés de pêche ont aussi été des « lanceurs d'alerte », contribuant à la surveillance et à l'entretien des cours d'eau.

Une des réponses au dépeuplement des cours d'eau va être la pratique du repeuplement. Aux yeux des pêcheurs, la pisciculture apparaît en effet comme la solution idéale pour lutter contre le dépeuplement des cours d'eau. Mais, en même temps, on inaugure une période de transferts et d'introductions d'espèces, notamment pour les salmonidés qui sont des poissons nobles. C'est ainsi que la truite arc-en-ciel est introduite en Europe en 1882 et reproduite en pisciculture pour la pratique des repeuplements par les sociétés de pêche. Au début du xx^e siècle, le poisson-chat, d'origine nord-américaine, a été largement diffusé à partir d'élevages en étangs. L'engouement des sociétés de pêche pour cette espèce était plus lié à la bonne qualité de sa chair qu'à une certaine aptitude à résister à la pollution.

Entre les années 1920 et 1950, les pêcheurs à la ligne, présents au bord de l'eau, et soucieux de la préservation des ressources piscicoles, deviennent les spécialistes empiriques des cours d'eau. Ils participent notamment à la collecte des informations sur la pollution des cours d'eau et toutes les menaces qui planent sur les rivières. Le Conseil supérieur de la pêche créé en 1948 devient un établissement public à caractère administratif en 1957. Il émet des avis sur la législation et la réglementation de la pêche. Il a un rôle d'assistant technique pour les fédérations. Enfin, il forme et emploie des gardes-pêche. De fait, il est investi d'une mission de police (Barthélemy, 2003). Par la suite, il deviendra l'Onema.

Il ne suffit pas que le délit de pollution soit inscrit dans le code rural. Encore faut-il avoir des outils efficaces pour caractériser les pollutions et apporter des preuves auprès des tribunaux. Les pêcheurs vont alors se tourner vers les scientifiques qui, de leur côté, vont développer dans les années 1970 de nouvelles techniques de mesure de la qualité des eaux, basées sur les indices biotiques. Il n'en reste pas moins que, pendant une vingtaine d'années, les revendications des pêcheurs ne seront l'objet d'aucune suite. Elles s'accumuleront dans les bureaux jusqu'à ce que la loi « pêche » de 1984 donne aux fédérations la mission d'établir un schéma départemental de vocation piscicole et des plans de gestion.

Simultanément, au cours des années 1970-1980, se développe un mouvement associatif à sensibilité environnementale qui va modifier quelque peu les rapports de force. Leurs revendications vont s'appuyer sur la loi de 1976 qui impose des études d'impacts, et susciter à leur tour des oppositions parfois vives entre militants et aménageurs. Elles ne concernent plus seulement la pollution, mais aussi le débit et la morphologie des cours d'eau. La notion d'habitat monte ainsi en puissance, parallèlement à la qualité des eaux. Ces revendications vont prendre le pas sur celles des pêcheurs, dont le nombre commence aussi à diminuer. L'adéquation entre la gestion piscicole et la pensée écologique ne va pas de soi. La remise en cause d'une politique de gestion du patrimoine piscicole basée sur l'alevinage, au profit d'une pensée écologique qui défend la

restauration des habitats, heurte les habitudes des pêcheurs, ainsi que les intérêts des pisciculteurs.

Les pollutions agricoles et la question des nitrates

La révolution verte de l'après-guerre avait pour objectif d'accroître la productivité de l'agriculture, dans un contexte de pénurie. C'était une priorité nationale, et les innovations en matière d'engrais et de pesticides de synthèse, ainsi que la sélection végétale, ont été utilisées massivement pour réaliser cet objectif. Ces innovations étaient alors perçues comme un véritable progrès, permettant de s'affranchir, en partie, des contraintes de la nature.

Dans les années 1960, les excès et les mauvaises pratiques dans l'utilisation des engrais ont fortement contribué à l'eutrophisation des eaux superficielles, ainsi qu'à la pollution des eaux souterraines par les nitrates. Après plusieurs événements médiatisés de pollution des eaux, Brice Lalonde, secrétaire d'État chargé de l'environnement, reproche aux agriculteurs, lors d'une conférence de presse le 20 janvier 1990, d'être le « point noir » en matière de pollution des eaux par les nitrates. Bien évidemment, les organisations professionnelles protestent, notamment la FNSEA, qui continue de nier obstinément toute responsabilité. Le 21, un communiqué de la commission exécutive du RPR annonce qu'il est injuste de faire des agriculteurs le « bouc émissaire des carences » du gouvernement. Le 26, Henri Nallet, ministre de l'Agriculture et de la Forêt, indique qu'il est « difficile de déterminer » les responsabilités en matière de pollution des eaux par les nitrates et que les agriculteurs sont les « premiers écologistes » du pays. Brice Lalonde renchérit et indique qu'en matière de pollution « il s'agit de trouver des solutions, pas des coupables ».

Cette mise en accusation du secteur agricole est l'occasion de réaffirmer son caractère moderne et industriel. Si l'agriculture pollue, c'est qu'elle est une industrie comme les autres, mais elle est la seule à avoir aussi une action positive sur l'environnement : entretien des paysages, utilisation des boues urbaines, lutte contre les incendies, etc. Le discours professionnel officiel se veut donc responsable et

rassurant : il est de l'intérêt bien compris de tous, et en premier lieu des agriculteurs, de limiter l'utilisation d'intrants chimiques.

La « directive nitrates » (européenne), publiée en décembre 1991, impose ainsi aux États membres de lutter contre la pollution des eaux par les nitrates d'origine agricole. À partir de 1993, l'État met en place un Programme de maîtrise des pollutions d'origine agricole (PMPOA), par lequel les exploitations s'engagent, avec l'aide publique, à lutter pour une meilleure prise en compte de l'environnement dans le cadre d'un code national de bonnes pratiques agricoles. Des initiatives sont engagées dans ce sens, comme l'opération Ferti-Mieux, qui ne touchera cependant qu'un petit nombre d'agriculteurs.

Au fil des prises de position, s'affirme de plus en plus l'idée d'une « agriculture compétitive et respectueuse de l'environnement », avec en filigrane la certitude que des solutions techniques pourront être mises en œuvre pour régler ces questions. Le mode de développement intensif de l'agriculture n'est pas remis en cause, et la mission des agriculteurs, qui est de nourrir la Nation, est constamment réaffirmée. Quoi qu'il en soit, vingt ans après, la teneur en nitrates de nos cours d'eau n'a guère diminué et les pollutions diffuses réputées d'origine agricole restent le point noir des agences de l'eau (voir chapitre 11).

Le nœud gordien de l'eutrophisation

Trop, c'est trop ! La synthèse de la matière organique végétale nécessite la présence d'éléments nutritifs tels que l'azote et le phosphore, deux éléments qui sont habituellement en concentration limitée dans les eaux naturelles. Le phénomène d'eutrophisation des eaux résulte d'un apport excessif de ces éléments nutritifs dans les eaux, en provenance des rejets domestiques (lessives, détergents), de l'industrie et de l'agriculture (engrais de synthèse). Il a pris une ampleur inquiétante dans le monde à partir des années 1950 et 1960 et se manifeste par une prolifération excessive d'algues ou de plantes aquatiques. Le phénomène est par ailleurs favorisé par

l'intensité et la durée de l'éclairement (optimale au printemps), une température élevée et le ralentissement local du courant. L'une des conséquences est une forte diminution de l'oxygénation de l'eau, résultant de la décomposition de la matière organique et se manifestant par des asphyxies massives d'espèces animales. Une autre conséquence de l'eutrophisation est la modification des peuplements phytoplanctoniques, avec notamment le développement de cyanobactéries et, en milieu marin, de dinoflagellés, dont certaines espèces sont toxiques.

Dans les eaux continentales, les phosphates sont dépourvus d'effet connu sur la santé humaine, mais ce sont les principaux responsables de l'eutrophisation. Ils proviennent, à parts à peu près égales, de sources agricoles, industrielles et domestiques (détergents et lessives phosphatées). Dans les zones agricoles, on estime que 0,5 à 2,5 % du phosphore des engrais répandus est entraîné par ruissellement. L'azote est présent dans l'eau sous la forme d'ammonium (NH_4^+) et de nitrate (NO_3^-). L'ammonium s'oxyde en nitrites, puis en nitrates (processus de nitrification), qui constituent la forme dominante dans la rivière.

En eau douce, le phosphore est le plus souvent présent en faible quantité et sa faible disponibilité limite la production végétale. Dans les milieux côtiers, le phénomène est plus complexe, du fait de la succession d'espèces planctoniques au cours de la saison. Ainsi, au printemps, c'est le phosphore qui est souvent considéré comme le facteur limitant. Mais, bien que la question soit débattue, de nombreux spécialistes considèrent qu'azote et phosphore sont rares en période estivale et qu'ils sont plus ou moins co-limitants. Pour le développement des macroalgues telles que les ulves, il est reconnu que l'azote représente toujours le facteur de contrôle en raison de la forte disponibilité du phosphore dans les eaux très côtières et de la très forte nitrophilie des ulves.

L'eutrophisation de la rivière Loue

Une mortalité anormale de poissons et le développement d'algues toxiques (cyanobactéries) ont été observés depuis quelques années dans la rivière Loue (département du Doubs). Le conseil scientifique de l'agence de l'eau Rhône-

Méditerranée a réalisé une expertise de cette rivière. « Le rapport scientifique montre que la rivière est victime d'un phénomène persistant d'eutrophisation. Des tapis d'algues colmatent le fond de la rivière et consomment l'oxygène la nuit, ce qui nuit à la faune aquatique. Ces végétaux sont nourris par les excès de phosphore et d'azote venus des élevages et des eaux usées domestiques, qui persistent malgré tous les efforts déjà engagés par les agriculteurs et les collectivités. Plus inattendu, les trous dans le couvert d'arbres des berges, trop nombreux pour la Loue, les barrages qui ralentissent l'eau, ainsi que le changement climatique, qui s'observe dans la Loue depuis la fin des années 1980, aggravent les conséquences de l'eutrophisation en réchauffant et éclairant les eaux. »

Les mesures à prendre sont donc un assainissement plus efficace des eaux usées et une réduction des épandages agricoles pour abaisser les apports en nutriments ; réinstaller un couvert forestier dense sur les berges, faire le bilan des micropolluants provenant des activités industrielles agricoles ou domestiques. On attend leur mise en œuvre ?

Il est bien établi que le phénomène d'eutrophisation est principalement la conséquence des activités humaines. Pour réduire l'eutrophisation, il faut, en théorie, limiter l'usage de ces produits... C'est ici que la logique économique est confrontée à la logique écologique ! Les industriels des engrais, des lessives, des détergents, pour ne citer qu'eux, avaient des intérêts particuliers à défendre. Et ils ne s'en sont pas privés.

La suppression des lessives phosphatées : un bel exemple de lobbying !

À partir de 1948, l'utilisation des phosphates pour adoucir l'eau de lavage du linge en neutralisant l'action du calcaire a permis aux producteurs de lessives de conquérir un marché fort rentable. Par malchance, on attribua rapidement au phosphore la responsabilité du développement des « fleurs d'eau », ou efflorescences algales, qui correspondent au développement massif de quelques espèces algales.

La pollution par les phosphates devient rapidement un problème majeur dans la gestion des eaux continentales, en Amérique du Nord comme en Europe. Les pays les plus touchés envisagent alors des mesures en vue de déphosphater les effluents ainsi que pour réduire le phosphore à la source. Ainsi, en 1967, la Commission

internationale pour la protection des eaux du Léman, constatant que plus de 50 % du phosphore d'origine domestique provient des lessives, recommande d'utiliser des détergents sans phosphore. Une telle mesure ne pouvait pas laisser indifférents les industriels concernés. Il s'ensuivit une longue polémique et une « guerre des lessives » impliquant des scientifiques, portant sur les rôles respectifs du phosphore et des nitrates dans les phénomènes d'eutrophisation.

En 1990, le professeur Roland Carbiener, de l'université Louis-Pasteur de Strasbourg, rendit un rapport à la demande du ministre de l'Environnement, Brice Lalonde, sur l'impact des phosphates dans l'environnement. Le verdict était sans appel : les phosphates sont les principaux responsables de l'eutrophisation des rivières et des lacs. Il fallait donc privilégier l'usage de lessives sans phosphates. La Suisse avait déjà interdit l'utilisation de phosphates dans les lessives en juillet 1986, avec des résultats significatifs au niveau de l'eutrophisation du lac Léman. Et plusieurs pays utilisèrent rapidement des produits de substitution, les zéolithes (silicates de sodium et d'aluminium), mis sur le marché en 1989. En France, il faudra attendre le 1^{er} juillet 2007 pour que les phosphates soient interdits dans les lessives domestiques, c'est-à-dire vingt ans après ! Quant à l'interdiction pour les usages industriels, elle date de 2012 : cherchez l'erreur...

Nitrates : la ligne Maginot des 50 mg/L

Les nitrates ont souvent été utilisés comme traceurs de la qualité de l'eau. C'est un élément relativement facile à analyser, mais leur teneur ne traduit rien d'autre que leur présence. Aucune corrélation n'a été mise en évidence entre la présence de nitrates et celle de micro-organismes pathogènes ou de molécules indésirables. La valeur de 50 mg/L que l'on agite en permanence est une valeur réglementaire limitant l'usage de l'eau pour la consommation humaine.

Les nitrates sont-ils dangereux pour la santé ? Une autre question longtemps débattue ! Les nitrates, sauf ingestion de doses massives, ne sont généralement pas considérés comme toxiques en tant que

tels. C'est leur éventuelle transformation en nitrites, puis leurs dérivés comme la nitrosamine, qui peut être dangereuse pour la santé, et notamment pour le nourrisson (L'hirondel et L'hirondel, 1996). Et il a été démontré que la fameuse limite des 50 mg/L dans l'eau de boisson, fixée par une directive européenne de 1980, est une décision purement administrative. En 1998, le Pr Apfelbaum confirme que la consommation de nitrates est inoffensive chez l'homme sans limite de dose. On consomme en effet sans problème des épinards qui ont de fortes teneurs en nitrates.

Ces prises de position ont donné lieu à de vives réactions de mouvements militants, notamment de la part de l'association Eaux et rivières de Bretagne. Certaines études menées ultérieurement tendent à confirmer l'existence d'un effet toxique des nitrates et un risque de cancer pour des taux trop importants... Mais la question n'est probablement pas close. Actuellement, beaucoup de spécialistes estiment que les nitrates ne sont pas un vrai problème de santé publique et que, si la norme était de 100 mg/L, cela n'aurait aucune incidence sur la santé !

La contribution des nitrates à l'eutrophisation n'est cependant pas remise en cause, compte tenu notamment de son impact sur le milieu côtier.

Un « point noir » : les pollutions par les engrais agricoles

La question des pollutions agricoles dues aux épandages d'engrais de synthèse défraie la chronique depuis plusieurs décennies. Après plusieurs événements médiatisés de pollution des eaux, Brice Lalonde, secrétaire d'État chargé de l'environnement, reproche aux agriculteurs, lors d'une conférence de presse le 20 janvier 1990, d'être le « point noir » en matière de pollution des eaux. Ce fut évidemment un choc pour le monde agricole et il faudra un certain temps avant qu'il ne reconnaisse les faits. Il s'est ensuivi différentes initiatives et mesures en vue de limiter les apports en azote et le lessivage vers les nappes et les cours d'eau. Le contrôle de la

pollution azotée nécessite une évolution des pratiques culturales, de manière à adapter la fertilisation aux besoins des cultures et d'éviter les excédents d'azote lessivable. On a également encouragé la mise en place de bandes enherbées implantées en bordure de parcelle ou sur les bords des cours d'eau. Elles constituent des zones tampons qui retiennent une partie des nitrates et des autres polluants, et leur efficacité a pu être démontrée.

Différentes mesures agri-environnementales (MAE) ont également été proposées : contrats territoriaux d'exploitation (CTE), « prime à l'herbe », contrats d'agriculture durable (CAD), etc., en vue d'inciter financièrement les agriculteurs à des pratiques plus respectueuses de l'environnement. L'opération Ferti-Mieux a été lancée en 1991 par l'Association nationale pour le développement agricole (Anda), autour de la question comment stopper la hausse, qui semblait alors inexorable, de la teneur en nitrates des nappes phréatiques au-delà de 50 mg/L ?

Qu'en est-il aujourd'hui des teneurs en phosphore et en azote dans nos rivières ? Peut-on penser que les mesures qui ont été prises ont été efficaces ? Toutes ces mesures et initiatives ne sont pas restées sans résultats, mais ces derniers sont encore insuffisants puisque la réduction de la teneur en nitrates dans les eaux superficielles et souterraines reste limitée. Une des raisons pourrait être que le nombre d'agriculteurs impliqués dans les mesures agri-environnementales n'est pas encore suffisant ; une autre est que les surfaces cultivées sont plus importantes aujourd'hui. Le problème reste entier et constitue un sujet de préoccupation majeur pour les agences de l'eau car il pénalise les efforts réalisés pour atteindre les objectifs de « bon état » des eaux fixés par la DCE.

Selon le rapport du commissariat général au développement durable (2011) qui s'appuie sur les résultats du programme Oskar, « depuis la fin des années 1990, les flux de phosphore sont nettement en baisse – en diminution de moitié, voire plus – sur l'ensemble des trois façades maritimes françaises. Cette amélioration est explicable, d'une part, par le moindre recours aux engrais phosphatés, et de l'autre, par l'amélioration des performances des stations

d'épuration ». On peut penser que l'interdiction des lessives phosphatées a également joué un rôle, bien que le rapport ne le précise pas.

En ce qui concerne l'azote, « la tendance est moins marquée sur les flux azotés, en particulier pour la façade méditerranéenne. Les flux d'ammonium ont certes fortement diminué, notamment en Manche et mer du Nord, grâce aux meilleurs traitements des stations d'épuration. Mais ils sont au minimum dix fois inférieurs à ceux liés aux nitrates. Les légères baisses constatées sur la façade atlantique-Manche-mer du Nord n'atteignent pas les réductions de moitié relevées sur les flux phosphorés. Le flux en Méditerranée reste quant à lui plutôt stable. »

Si l'on s'intéresse à l'ammonium, plutôt d'origine urbaine, les apports sont largement minoritaires par rapport aux nitrates, et globalement en baisse : diminution de plus de 80 % sur la période 1990-2008 pour la Seine, et de près de 70 % pour la Loire et la Garonne. Cette amélioration globale est imputable en grande partie à l'amélioration des performances des stations d'épuration des eaux urbaines.

Tendances en matière d'utilisation des engrais dans le bassin de la Seine

Le bassin de la Seine est une illustration des problèmes liés aux pollutions agricoles. Jusqu'au milieu du ^{xix}^e siècle, les teneurs en azote et en phosphore ont été peu importantes dans les eaux. À partir du milieu du ^{xix}^e siècle, on observe une augmentation progressive, mais limitée, de ces apports, un peu plus marquée en ce qui concerne l'azote. Dans les années 1950, par contre, les apports en azote, mais surtout en phosphore, augmentent considérablement du fait de l'utilisation massive d'engrais de synthèse et des lessives poly-phosphatées. Les apports de phosphate sont multipliés par 4, et les rejets d'azote par 3.

À partir de 1990, les apports en phosphore diminuent fortement, par suite de l'utilisation de lessives non phosphatées et en raison d'une plus grande efficacité en matière d'épuration des rejets urbains et industriels. Ainsi, le flux de phosphore total de la Seine a diminué de moitié entre 2000, date de mise en service d'une unité de traitement du phosphore sur la station d'épuration Seine-Aval (qui couvre une part importante de l'agglomération parisienne) et 2002, puis par trois depuis. Les rejets d'azote diminuent également, mais dans une moindre proportion. Par contre, la teneur en nitrates, d'origine essentiellement agricole, est en croissance continue depuis 1990.

Comment le grand public perçoit-il les pollutions chimiques ?

Les sciences sociales ont longuement réfléchi à la question suivante : comment les populations se créent-elles une grille de lecture du monde réel de manière à donner un sens aux changements qu'elles observent dans l'environnement ? Et comment le changement est-il interprété (ou perçu) dans un sens négatif ou positif ? Des questions particulièrement pertinentes en ce qui concerne la pollution des rivières.

Les enquêtes sociologiques montrent que les représentations du cours d'eau se construisent « en situation ». Ces représentations sont variables selon les individus, et dépendent de la nature de leurs rapports à la rivière. Le fait qu'un individu fréquente un cours d'eau le met dans une situation de proximité avec ce milieu et va mobiliser ses sens. Les indicateurs habituels de la qualité de l'eau sont alors d'ordre sensitif : des odeurs, des couleurs, des bruits, des goûts... autrement dit, c'est à travers des signes perceptibles par nos différents sens que les citoyens perçoivent les changements. Les pêcheurs, par exemple, se fient généralement à leur vue, à leur odorat, au toucher, ainsi qu'au goût de l'eau et de la chair des poissons.

La prise de conscience des modifications de l'environnement passe également par la reconnaissance de signes qui sont considérés comme des indicateurs du changement. Un événement exceptionnel (inondation, forte pollution) n'est pas nécessairement le signe d'une modification structurelle du milieu. Mais la récurrence de ces événements peut laisser penser que quelque chose a changé, ou est en train de changer. Ainsi, la récurrence des mortalités de poissons, des odeurs pestilentielles, etc., est un signe fort que le milieu se dégrade, même si la pollution elle-même reste invisible.

À l'issue d'une enquête menée sur la perception de la pollution chimique dans l'estuaire de la Seine, Sirost *et al.* (2007) concluent : « La grande leçon de cette enquête reste le fossé relatif aux

perceptions du risque de contamination chimique lié à l'eau. Les usagers évoquent spontanément une grille d'indices visibles (couleur de l'eau, poissons morts flottants) complétée par des désagréments odoriférants. Cette perception est ancrée dans l'histoire de l'aménagement du fleuve et de l'installation des populations pendant les étapes d'urbanisation et d'industrialisation. Cette perception ne correspond pas du tout à la perception savante du processus tel que la loi ou les protocoles d'analyse de l'eau la définissent. Difficile, en effet, de communiquer autour d'un monde de plus en plus microscopique et labile. »

La perception de la qualité de l'eau du Rhône par les pêcheurs

Les pêcheurs ont une réelle proximité avec la rivière. Ils ont joué un rôle déterminant en tant que sentinelles de l'environnement, pour alerter les pouvoirs publics sur les pollutions. Les enquêtes sur la perception des pollutions par les pêcheurs, réalisées sur le Rhône par Gilles Armani (2007) mettent en évidence que « pour la construction d'indicateurs de qualité de l'eau, le pêcheur se fie à ses cinq sens. La vue est sollicitée en premier lieu. L'aspect visuel du "coin de pêche" est fondamental pour son évaluation qualitative. Dans cette perspective, toute pollution visuelle, auditive ou olfactive est une entrave au plaisir. Les matières solides, les déchets qui encombrant l'environnement immédiat du pêcheur, sont autant d'indicateurs d'une atteinte au milieu. Les taches d'huile, les mousses, les couleurs, indiquent une détérioration de la pureté initiale de l'eau. La transparence est l'idéal, bien que le pêcheur accepte la couleur brune révélatrice des orages en amont. Les odeurs nauséabondes attestent la présence de produits chimiques ou d'un processus de putréfaction. Le toucher, qu'il s'agisse de marcher dans l'eau, d'effleurer des algues ou de palper un poisson, rend compte d'éventuelles dégradations. »

Le corollaire est que les phénomènes invisibles et impalpables (les micropolluants, par exemple) échappent à ces catégories de perception du milieu basées sur des aspects visibles et sensibles.

Les pollutions non perceptibles sensuellement remettent donc en cause les constructions symboliques classiques de l'eau. Faute de ces indicateurs, les pêcheurs doivent avoir recours à un « tiers instruit », le scientifique ou l'expert. L'individu perd ainsi son autonomie de jugement pour s'en remettre à une autorité compétente. Mais l'information à laquelle il accède et qui est relayée par les médias ne satisfait pas toujours ses attentes. Ainsi, sa connaissance du milieu lui permet d'interroger l'interdiction de consommation de toutes les espèces de poissons du fait de la pollution par les PCB. Certaines personnes relativisent le danger : elles ont toujours mangé le poisson du Rhône et une consommation modérée ne semble pas faire de mal. Sans compter que tous les poissons ne seraient pas forcément touchés de la même manière, en fonction de leur âge ou de leur mode de vie (poisson de fond ou de surface) ! Le doute s'installe : pourquoi ne pas interdire aussi les fruits et légumes irrigués avec l'eau du fleuve ? Et comment se fait-il que l'on prenne seulement des mesures maintenant pour un problème qui est connu depuis vingt-cinq ans ? L'absence de réponse à ces questions laisse place à de la colère ou de la suspicion envers les autorités, et au refus d'appliquer la réglementation en consommant du poisson malgré l'interdiction. Comme souvent, on évoque la théorie du complot : il y a une volonté délibérée de faire disparaître la pêche !

La frustration des pêcheurs du Rhône

« La responsabilité justement, à qui incombe-t-elle ? Leur discours renvoie souvent vers un "ils" désincarné représentant des responsables difficilement identifiables. Les pêcheurs souhaiteraient être mieux informés et sont en attente de nouvelles rassurantes. Les gardes-pêche, les « Eaux et forêts », la Fédération sont leurs références, mais peu d'interlocuteurs semblent à même de leur répondre. Ils se sentent d'autant plus écartés que leurs observations ne semblent pas prises en compte. Quand ils signalent une anomalie sur le fleuve, ils n'ont aucun retour d'information, aucune réponse qui leur garantisse d'avoir au moins été écoutés. Ils interrogent les magasins d'articles de pêche, lieu de rencontre où l'on glane des informations sur l'actualité halieutique. Faute de dialogue, la colère monte. Le permis est trop cher et l'on menace de ne plus le payer. Les pêcheurs ont l'impression d'avoir été floués, ignorés et d'être considérés comme juste bons à payer des taxes qui devaient servir à préserver le milieu aquatique. Certains en concluent qu'on cherche à les extraire de l'espace fluvial pour favoriser le développement d'activités plus lucratives (théorie du complot). » (G. Armani, 2007)

La perception des pollutions par les riverains de l'estuaire de la Seine

La qualité de l'eau de la Seine est suivie depuis plusieurs décennies. De nombreux bilans des analyses physico-chimiques montrent que la qualité de l'eau est dégradée mais qu'il y a globalement une amélioration depuis les années 1980. Devant ces faits « objectifs », quelle est la réaction des habitants de l'estuaire ? Ceux-ci portent globalement un jugement sévère sur la qualité de l'eau. En posant directement la question « Selon vous, existe-t-il une pollution chimique des eaux de la Seine ? », 86 % des personnes interrogées répondent positivement. En effet, 61 % des personnes interrogées l'estiment de très mauvaise ou de mauvaise qualité et uniquement 8 % des questionnés la jugent de bonne ou d'excellente qualité. C'est une image très négative du fleuve qui transparaît ainsi. La nature de ces réponses est très fortement influencée par l'âge : plus les personnes sont jeunes, plus elles sont nombreuses à citer spontanément le thème de la pollution (Sirost *et al.*, 2007).

L'étude montre que les riverains de la Seine, comme les pêcheurs du Rhône, apprécient la qualité de l'eau à partir d'observations personnelles : couleur et clarté de l'eau, mortalité de poissons, etc. Bref, c'est une connaissance empirique qui est utilisée, beaucoup plus que l'information savante. La perception de la qualité de l'eau et du risque chimique associé est également dépendante du lien que les usagers entretiennent avec l'estuaire de la Seine. Ainsi, les personnes qui se baignent parfois dans le fleuve, qui y pratiquent une activité nautique ou qui y pêchent, sont celles qui jugent le plus positivement l'évolution de la qualité de l'eau.

L'industrie est vue comme première responsable de cette pollution chimique, puis les grandes agglomérations et plus loin l'agriculture. L'étude montre qu'il n'existe pas réellement de grande peur sanitaire liée à la qualité de l'eau de la Seine. Les gens citent en priorité des problèmes bénins de santé : allergies et inconforts gastriques et alimentaires. Néanmoins, les problèmes de fertilité inquiètent 7 % de la population...

Si un peu plus d'un quart de la population est d'accord/tout à fait d'accord pour dire que la qualité de l'eau s'est améliorée ces dix dernières années, 45 % ne constatent pas cette amélioration. L'âge apparaît toujours comme une variable discriminante forte : 56 % des plus de 65 ans observent une amélioration. Au contraire, les plus jeunes réfutent en masse ce progrès. On peut faire l'hypothèse que les personnes âgées jugent la Seine d'aujourd'hui essentiellement en comparaison à l'état passé du fleuve. Pour être apprécié, le progrès doit être vécu !

Une perception paradoxale

Des poissons mutants aux tumeurs inquiétantes, une féminisation de la faune aquatique, une stérilisation des agriculteurs, des mousses roses de 3 mètres de hauteur, un égout à ciel ouvert, une peur d'explosion des usines ou encore des eaux troubles et huileuses, voilà un aperçu des petites mythologies de la Seine perçue sous l'angle d'un risque chimique chronique. Derrière ces histoires, on découvre plusieurs contradictions qui scandent la gestion de l'eau au quotidien. D'un côté, on tient un discours savant qui se réfugie derrière des équations et des termes complexes sans savoir toutefois quels sont les risques réels transférables aux populations civiles. D'un autre côté, des comportements de populations laissant apparaître une certaine insouciance : baignades rituelles chez les enfants du pays de Caux, consommation régulière et ancestrale des produits de pêche (crevettes, moules, poissons), manifestations sportives sur l'eau. L'enquête sur les perceptions montre une fois de plus le fossé entre un sens commun et un savoir savant sur la chimie des eaux et ses risques. Quelques points explicitant ce décalage méritent d'être soulignés :

- les représentations de l'eau de Seine restent ancrées dans l'histoire : la Seine c'est Paris, un égout à ciel ouvert ;
- la logique du visuel dans la perception des risques de contamination chimique l'emporte largement sur l'équation savante et le microscope ;
- les risques chimiques liés à l'eau font partie de l'arsenal par lequel le politique exerce son pouvoir, se servant des peurs d'épidémies ou de risques majeurs (explosion d'usine) comme levier ;
- la législation sur l'eau reste méconnue, mal comprise, et inapplicable par manque de moyens et de compétences. (Sirost *et al.*, 2007)

Conclusions

Les pollutions chimiques en milieu aquatique ont suscité un très grand nombre de recherches dont certaines sont qualifiées d'écotoxicologiques alors qu'elles ne sont en réalité que des recherches toxicologiques. Certes, nous connaissons beaucoup de

choses sur la toxicité de divers produits, mais ces travaux sont d'une utilité limitée quand il s'agit d'améliorer l'état des cours d'eau. Une fois qu'elles sont dans le milieu, les substances toxiques sont difficiles, sinon impossibles à traiter ! L'idée selon laquelle les cours d'eau sont des tuyaux d'évacuation des déchets reste encore ancrée dans certains esprits, ou du moins reste une solution de facilité. La logique implacable est qu'il faut pratiquer la prévention et limiter les pollutions à la source. Et la prévention passe souvent par la prise de précautions non seulement dans l'utilisation des produits mais aussi sur leurs conditions de stockage ainsi que dans le nettoyage des engins d'épandage.

Quoi qu'il en soit, le contrôle des pollutions est un maillon essentiel d'une politique de reconquête écologique des cours d'eau. Sans une qualité d'eau acceptable pour la vie des organismes, on aura beau recréer des habitats, la qualité écologique globale du milieu ne s'améliorera pas.

Pour conclure, l'étude de la pollution des rivières par des éléments chimiques artificiels est un véritable tonneau des Danaïdes. Comme le fait remarquer avec humour Jean Duchemin, de l'agence de l'eau Seine-Normandie dans son image de l'iceberg (figure 12.3), nous avons étudié seulement une partie des polluants potentiels alors que les effets de nombre d'autres polluants ne sont pratiquement pas connus.

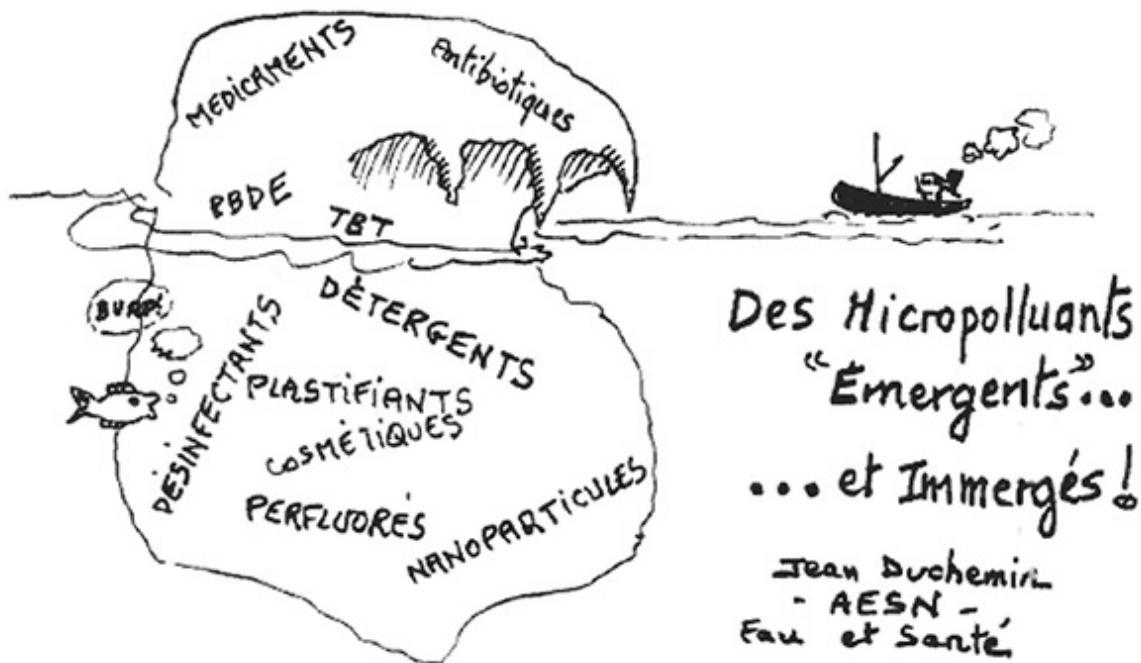


Figure 12.3 Avec moins d'un millier de molécules recherchées dans les contrôles, c'est à peine 0,1 % de ce qui existe qui bénéficie d'un bilan, même parcellaire, de contamination, nous ne voyons que la partie émergée de l'iceberg. (dessin de Jean Duchemin, 2012)

Pour en savoir plus

Apfelbaum M., 1998. *Risques et peurs alimentaires*. Éditions Odile Jacob.

Armani G., 2007. Perception des micropolluants toxiques par les pêcheurs amateurs et professionnels. Observation sociale : plus-value sociale et représentations des milieux aquatiques. Agence de l'eau, maison du fleuve Rhône, 2007, 53 p.

Barroin G., 2004. Phosphore, azote, carbone... du facteur limitant au facteur de maîtrise. *Le Courrier de l'environnement de l'Inra*, n° 52.

Barthélemy C., 2003. Des rapports sociaux à la frontière des savoirs. Les pratiques populaires de pêche amateur au défi de la gestion environnementale du Rhône. Doctorat de sociologie, université de Provence, 375 p.

Billen G. et Garnier J., 2009. Eutrophisation des cours d'eau du bassin de la Seine. Comprendre comment l'activité de l'homme entraîne la prolifération des végétaux aquatiques. Programme Piren-Seine.

CGDD, 2011. Évolution des flux polluants à la mer. Synthèse des évaluations réalisées dans le cadre des conventions Oskar et Medpol. *Études et documents*, n° 34. Commissariat général au développement durable.

Corbin A., 1995. *L'avènement des loisirs 1850-1960*. Aubier, 322 p.

Douglas M., 1992. *De la souillure*. La découverte, 1^{re} édition 1967.

Duchemin J., 2012. Recherche de résidus de médicaments et de perturbateurs endocriniens, eaux souterraines du bassin Seine-Normandie. Communication orale au 13^e carrefour de l'eau de Rennes, 25-26 janvier 2012.

Garcier R., 2005. La pollution industrielle de la Moselle française : naissance, développement et gestion d'un problème environnemental. Thèse de doctorat en géographie et aménagement de l'université Louis-Lumière-Lyon 2.

Gérardin A.-C., 1874. Rapport sur l'altération, la corruption et l'assainissement des rivières. Paris, Imprimerie nationale.

Guillerme A., 1993. Les temps de l'eau. La cité, l'eau et les techniques. Champ Vallon.

L'hirondel J. et L'hirondel J.-L., 1996. *Les nitrates et l'homme. Le mythe de leur toxicité*. Editions de l'Institut de l'Environnement.

Malange J.-F., 2007. Risque perçu et risque vécu. Les pêcheurs à la ligne et la pollution des cours d'eau en France aux xix^e et xx^e siècles. Troisième séminaire du programme « Au fil de l'eau ». http://www.msh-clermont.fr/IMG/pdf/06.MALANGE.Au_fil.pdf 
(consulté le 23/11/2015)

Massard-Guilbaud G., 2003. Une histoire sociale de la pollution industrielle dans les villes françaises (1789-1914). Mémoire d'habilitation à diriger les recherches. Université Lyon 2.

Menesguen A., 2001. L'eutrophisation des eaux marines et saumâtres en Europe, en particulier en France. Rapport Ifremer DEL/EC/01.02 - janvier 2001 (sur le web).

Sirost O., L'Aoustet O., Ajcardi R., 2007. Perception du risque chimique chronique lié à la qualité de l'eau chez les acteurs et usagers de l'estuaire de la Seine. Rapport scientifique Seine-Aval 3.

Les cités redécouvrent leurs rivières

« L'eau est une des matières premières de l'urbanisme. Sans eau, pas de vie ni de ville. Mais trop d'eau empêche ou dilue l'assise de ses fondations. De ce paradoxe naissent deux attitudes fortement ancrées dans la mémoire collective. L'une amenant l'eau à force d'ouvrages, l'autre n'ayant de cesse de l'éliminer ».

Jean Labasse au colloque « La ville et le fleuve » (1987)

Les relations entre les hommes et les cours d'eau sont aussi vieilles que l'histoire de l'humanité. Dans la préhistoire, les fleuves ont permis aux hommes de se repérer dans l'espace et d'avoir un accès à l'eau en permanence. Dans l'espace méditerranéen, c'est le long des fleuves que se sont développées les premières civilisations agricoles, en utilisant d'abord les plaines alluviales enrichies en limon, puis en maîtrisant progressivement l'eau pour l'irrigation. Il y a plusieurs millénaires, la civilisation occidentale est née dans le Croissant fertile, entre le Tigre et l'Euphrate. La civilisation égyptienne, quant à elle, est née autour de la vallée du Nil, qui constituait une voie de communication et d'échanges.

Depuis l'Antiquité, fleuves et rivières ont également joué un rôle important dans la fondation des villes et dans leur développement économique. Les rives des cours d'eau débordent en effet d'activités :

- domestiques : fourniture d'eau, blanchissement du linge, baignade, évacuation des déchets et des eaux usées, fournitures de sables et de graviers ;
- alimentaires : pêche, maraîchage ;
- défensives ;
- économiques : transport du bois, des marchandises, des denrées alimentaires ainsi que les commerces et métiers

associés à la batellerie : armateurs, dockers, cordiers, charpentiers..., sans oublier les nombreux moulins utilisant la force hydraulique ;

- ludiques : joutes, sports nautiques, tourisme et, plus tardivement, cadre de vie et environnement.

Il n'est donc pas surprenant que beaucoup de villes se soient installées à proximité des fleuves. Pourtant, c'était un peu la roulette russe : le fleuve offrait beaucoup d'avantages mais, simultanément, une seule crue pouvait détruire en peu de temps les biens accumulés par le travail de plusieurs décennies. Le danger permanent des crues dévastatrices rendait les relations entre la ville et son fleuve incertaines.

Au cours des siècles derniers, les villes ont divorcé de leurs cours d'eau qui étaient devenus, pour beaucoup, des poubelles. Certains ont même été enterrés pour cacher les pollutions et les miasmes. Mais l'époque actuelle est à la réhabilitation des fleuves sacrifiés. On parlerait plutôt de reconquête du fleuve en milieu urbain, comme le soulignait Labasse (1987) : « il est d'ailleurs acquis que, de toutes les fonctions remplies par le fleuve dans la ville, celle qui touche à l'animation sociale est la plus stable à travers les âges, alors que la fonction proprement économique est soumise à des fluctuations assez amples [...]. Du coup, les missions utilitaires reculent devant celles qui concernent les loisirs et la convivialité ». Et il ajoutait : « L'écologie, le souci de l'environnement et de la qualité de la vie, la recherche d'une nouvelle convivialité sont autant de facteurs qui expliquent les tentatives nombreuses de réhabilitation des fleuves à l'intérieur des villes. Des fronts fluviaux sont restaurés, des ports de plaisance et des stades nautiques sont créés, des promenades se substituent parfois aux autoroutes riveraines ».

Les cours d'eau et le développement des cités européennes

Pour Guillaume (1993), qui a réalisé une remarquable analyse de l'évolution des rapports entre l'eau et la cité à travers les siècles, « l'eau est à l'urbain ce que la terre est au rural ». Il nous propose une lecture, basée sur trois grandes époques, des logiques et des symboliques qui ont présidé à la gestion de l'eau pour les villes.

L'époque de l'eau vive

De la fin de l'époque carolingienne à la fin du XII^e siècle, la ville médiévale organise son activité autour de l'eau vive et l'appareil économique de la cité fonctionne au rythme du courant : les moulins se multiplient et les artisanats spécialisés, les « métiers de la rivière », se développent. On assèche les marécages, on draine les sols détrempés, on consolide les berges, on facilite l'accostage des bateaux. Certaines cités vont alors ressembler à de « petites Venise ». L'eau qui traverse la ville est à la fois ressource et outil, mais demeure une contrainte, notamment en raison des crues.

L'époque de l'eau morte

Au XIV^e siècle, la France entre dans une longue période de troubles. Pour se défendre des attaques, la ville se replie sur elle-même, comme en témoigne l'extension démesurée des douves, qui permet une meilleure protection des murailles, mais qui dissipe une partie de l'énergie hydraulique destinée à l'alimentation des canaux industriels *intra muros*. Et l'eau emmagasinée dans les réservoirs défensifs accroît l'humidité de la cité, favorisant ainsi la production de salpêtre à des fins militaires. La ville de l'Ancien Régime (du début de la guerre de Cent Ans jusqu'à la fin du XVIII^e siècle) sera celle de « l'eau morte ».

Le salpêtre et les villes...

Louis XI organise la recherche systématique du salpêtre à partir de 1477. Le salpêtre ou « sel de pierre » est un nitrate de potassium, composant essentiel de la poudre à canon. Il se forme sur les murs humides et les caves par cristallisation de l'eau, donnant une couche pulvérulente blanchâtre que l'on gratte ensuite. On peut le préparer également par la putréfaction de compost composé de fumier, de terre, et d'excréments, maintenus humides avec de l'urine. Le liquide qui en est extrait est

ensuite converti en nitrates de potassium. En ville, des mines de salpêtre se créent dans divers lieux humides, tels que les caves, les étables, dans les gravats provenant des démolitions, etc. Les basses villes, humides et peuplées, deviennent les principales sources de salpêtre. Les municipalités doivent d'ailleurs fournir à l'État un certain contingent de ce produit stratégique. « Jusqu'au début du XIX^e siècle, la ville est ainsi le premier producteur de salpêtre, fourni par tout ce que l'artisanat ne peut assimiler dans ses moyens de production - détritiques, excréments, gravats » (Guillerme, 1993).

L'époque de l'eau enterrée

À partir du XVIII^e siècle, la plupart des villes fluviales ont commencé à se doter de quais qui remplacent les grèves. Les quais permettent une meilleure protection contre les crues, tout en permettant aux bateaux d'accoster pour débarquer les marchandises. À la fin du XVIII^e siècle (le siècle des Lumières), la ville industrielle qui s'ébauche doit être sèche pour être saine. Désormais, « les miasmes sont pourchassés, les canaux enterrés, les rivières canalisées, les marais asséchés et la ville assainie, désodorisée et déshydratée » (Guillerme, 1993). La médecine s'émeut des maladies liées aux eaux croupissantes. L'opinion publique s'émeut des odeurs pestilentielles. L'eau stagnante à proximité des villes est à l'origine du méphitisme (corruption de l'air par des gaz à odeur pestilentielle) qui sera combattu par les hygiénistes au XIX^e siècle. Le réseau hydrographique urbain, amputé de ses attributions militaires et de ses finalités productives, mis au ban par le méphitisme, va disparaître rapidement. Les eaux croupissantes sont désormais signe de danger, de maladies, de mort. Les fossés et les eaux stagnantes de la ville basse seront ensevelis ou transformés en égouts, ou comblés. C'est l'ère de « l'eau enterrée ».

Le XIX^e siècle et la chasse aux rivières urbaines

Gabriele Lechner (2006) a réalisé une excellente synthèse de cette question dans *Le Fleuve dans la ville*. C'est surtout au XIX^e siècle que l'on voit progresser les moyens techniques et les activités économiques liées au transport fluvial, ainsi qu'à la protection contre

les crues ou la production d'énergie hydro-électrique. Ces usages donnent lieu à des aménagements considérables : les barrages et les écluses ont fragmenté la rivière, que les digues et les chemins de halage avaient, par ailleurs, corsetée. Les usines s'emparent des rives, autant pour les besoins de la navigation que pour alimenter leurs chaudières et rejeter leurs déchets.

Les grands travaux du Second Empire, dont ceux de Haussmann à Paris, traduisent le triomphe de l'esprit des Lumières, avec l'ambition d'édifier une ville fonctionnelle dotée d'une vaste machinerie invisible assurant l'arrivée d'eau dans toutes les habitations et l'évacuation des déchets dans les galeries souterraines et les égouts. D'autre part, on s'efforce de domestiquer les fleuves, de maîtriser les crues, et de faciliter la navigation : aménagement et creusement des lits, régulation des débits d'eau, rectification ou redressement des cours, construction de digues et de barrages. Dans le lit de la Loire, présenté par les médias comme le « dernier fleuve sauvage de l'Europe », on réalise des chenaux empierrés au fond du lit, les « duits », qui canalisent l'eau et créent deux régimes d'écoulement différents, un flux d'eaux vives d'un côté, un flux ralenti et même stagnant de l'autre, formant îles et grèves.

Les ponts, qui se multiplient au XIX^e siècle, permettent enfin une liaison plus aisée entre les deux rives d'une ville. On en profite pour les embellir par l'aménagement de têtes de pont et on les prolonge par des rues qu'il faut percer. À Paris, en 1870, 15 ponts ont été construits, soit plus que durant tous les siècles précédents.

L'aménagement de la Vilaine au XIX^e siècle

Au XV^e siècle, la ville de Rennes comprend une ville haute, celle des élites, à l'abri des caprices du fleuve, et la ville basse, espace privilégié de la production artisanale. La Vilaine est un fleuve peu profond à pente faible, aux bras nombreux enserrant des îles plates, mais susceptible de déborder sur une grande distance en période de crue. « La Vilaine n'est pas canalisée mais se divise en plusieurs bras qui divaguent paresseusement au milieu des jardins, des champs cultivés, des prés, des oseraies. Des ruisseaux tortueux s'y jettent, franchis par des passerelles branlantes au nom significatif de planches... La menace des inondations, l'odeur fétide qui s'exhale des eaux croupissantes l'été, les terrains imbibés d'eau l'hiver n'ont pourtant pas découragé les hommes. Des tanneurs, des teinturiers, des foulons et des bouchers se

sont installés ici, attirés par l'espace disponible et par la proximité d'un cours d'eau indispensable à l'exercice de leurs professions » (Leguay, 1981).

Au ^{xix}^e siècle va s'exprimer la volonté de vaincre la nature, de triompher du régime capricieux des eaux. Avec pour conséquence une transformation radicale du régime des eaux et du rapport de la population à son cadre aquatique : « l'eau qui s'écoule librement dans la ville, l'eau des plaisirs du bain et des jeux, l'eau des laveuses et des artisans, n'a plus droit de cité ». L'eau ne sera plus envisagée que sous ses dimensions utilitaires : l'eau brute pour le nettoyage de la ville, l'eau potable de l'alimentation, l'eau domestique, l'eau industrielle, l'eau ornementale des fontaines.

Sur le plan physique, le ^{xix}^e siècle sera celui de la canalisation de la Vilaine et la mise en place d'un système d'écluses visant des objectifs précis : permettre la navigation. Simultanément, il y a comblement des ruisseaux au cœur de la ville basse, l'arrivée de l'eau par des conduits souterrains et l'évacuation des eaux usées par des systèmes d'égouts. La rivière canalisée restera visible au cœur de la ville jusqu'à ce que, supplantée par le fer et la route, elle soit en partie recouverte. Les ruisseaux encore existants et les bras non canalisés servent à l'évacuation des déchets. Cette mutation marque le triomphe de l'esprit scientifique et technicien et la disparition d'un mode de sociabilité que les cités semblent actuellement rechercher (Merrien, 1994).

Au ^{xx}^e siècle, les villes se vident définitivement de leurs eaux. À Nantes, on comble deux bras de la Loire et on enterre son affluent, l'Erdre, dans sa partie aval durant les années 1930. Dans la région parisienne, le lit de la Bièvre est progressivement recouvert et disparaît définitivement de la surface en 1935. À Rennes, on installe une dalle de béton au-dessus de la Vilaine en centre-ville, pour créer un parking. Un ingénieur propose, dans les années 1960, d'enfouir la Seine sous une dalle à Rouen, afin d'assurer une liaison automobile satisfaisante entre les deux rives. « Là où les fleuves sont encore visibles, explique André Guillerme, c'est qu'ils ont résisté, qu'ils étaient trop puissants pour être enterrés, ou que cela coûtait trop cher. Toute l'histoire des rapports de la ville à l'eau est une volonté de domination, souvent aboutie^[18]. »

Le mouvement s'inverse en partie aujourd'hui. Les rives urbaines des grands fleuves, et en particulier les friches portuaires, suscitent des projets d'envergure avec la volonté de faire revivre ces petites rivières ignorées, de les remettre « au grand jour » et de les requalifier dans leur traversée urbaine. Tel est le cas de la Bièvre à Paris, de la Steir à Quimper, de la Vieille Mer en Seine-Saint-Denis.

À la reconquête des cours d'eau urbains

À partir des années 1980, le fleuve est progressivement remis en valeur (manifestations et fêtes sur les berges, aménagement de parcs, etc.). On lui reconnaît maintenant de nouvelles valeurs, s'appuyant sur des contenus essentiellement culturels (symboliques, récréatifs, ludiques), pour le bien-être des citoyens qui prennent plaisir à flâner sur les berges paysagées. « L'émergence de sensibilités nouvelles et la forte demande sociale en espaces publics et en espaces de loisirs en ville remettent le fleuve au centre de tous les intérêts. Ce retournement vers le fleuve qui offre des espaces libres et un horizon dégagé semble en effet correspondre à un besoin de nature ou plutôt à l'idée que l'on s'en fait. Les villes fluviales redécouvrent leurs bords d'eau auxquels elles avaient dénié toute qualité et leur forte potentialité pour le renouvellement de l'image de la ville. Les nombreux exemples de revalorisation de fronts d'eau entrepris dans le monde entier, avec l'aménagement d'espaces de loisirs et de culture, de commerce, de bureaux et de logements, ont un effet de boule de neige, révélant aux citadins le plaisir de vivre près de l'eau. En Europe, l'entreprise probablement la plus importante et la plus médiatisée est l'aménagement des bords de la Tamise à Londres, engagée au début des années 1980 avec la reconquête progressive des docklands à l'est de la vieille cité (Lechner, 2006).

Depuis les années 1980, les espaces délaissés par le déclin ou la transformation des activités industrielles font l'objet de toutes les convoitises des promoteurs, qui se traduisent par différents slogans : « Rendre les berges accessibles », « remettre le fleuve au cœur de la ville », etc. Ces friches que l'on désignait dans les années 1980 comme des « paysages en crise » ont dégagé du foncier, ouvrant ainsi un espace de liberté en milieu urbain. Depuis la loi du 30 juillet 2003 relative à la prévention des risques naturels et technologiques, l'État est autorisé à transférer gratuitement une partie de son domaine public fluvial aux collectivités territoriales qui le souhaitent.

« Des décennies d'occupation minérale et automobile vont prendre fin pour rendre le Rhône et sa rive aux Lyonnais. Un retour aux sources, donc au temps où les habitants de la cité étaient au contact direct de leur fleuve, et une avancée majeure dans la conception contemporaine des métropoles où l'aspiration des citadins à plus de calme, de nature dans la ville, de sécurité et d'agrément dans les déplacements est de plus en plus forte. » (Gilles Buna, adjoint au maire, dans l'article « Lyon rejoint son fleuve », *Lyon Citoyen*, septembre 2005)

« Espace identitaire, le fleuve constitue un élément de mémoire du lieu, un bien transmis, qu'il est question aujourd'hui à la fois de révéler, de rendre accessible et utilisable pour le plus grand nombre. Il s'agit de lui inventer un nouveau destin, de nouveaux usages, afin de le mettre en accord avec les aspirations et nécessités de l'époque. Le fleuve permet non seulement de répondre à une préoccupation croissante des citadins de voir maintenus des espaces naturels dans leur environnement proche et d'améliorer ainsi leur cadre de vie, mais aussi – et peut-être surtout – d'utiliser son fort potentiel imaginaire et identitaire pour améliorer l'image de la ville par des aménagements de qualité. Reliées en réseau, les voies d'eau permettent également de faciliter l'appréhension d'un territoire plus large, en s'imposant comme fil conducteur ou élément structurant de projets d'aménagement à une échelle plus vaste. » (Lechner, 2006).

Cet engouement pour la reconquête des berges n'est pas l'apanage des grandes cités fluviales. Les communes plus modestes cherchent aussi à développer leurs activités économiques en rapatriant des activités sportives et des pratiques liées à l'eau, ainsi qu'en favorisant le tourisme fluvial. Un riche vocabulaire s'est mis en place pour désigner les actions en faveur d'un réinvestissement du fleuve par la ville : réconcilier (la ville et le fleuve), se réapproprier ou reconquérir (les berges), renouer, rétablir, retrouver, retisser (les liens)... Ce vocabulaire traduit l'intention de renouer avec un élément fondateur de la ville (le fleuve ou la rivière) qui participe de son identité et l'inscrit dans un territoire (Lechner, 2006). « Pour une commune, être au bord d'un fleuve est bel et bien une chance qui peut lui permettre d'attirer des entreprises créatrices d'emplois, des touristes, voire de nouveaux habitants. Sans parler de l'attrait indiscutable, pour ne pas dire de la fascination, qu'offre toujours une rive... la seule mention « vue sur Seine » vaut de l'or. Nos villes bétonnées sont devenues

par moments insupportables et la vue du fleuve est bien souvent le seul lien qui nous reste avec la nature et la réalité. » (Jego, 2005)

Après que le fleuve a joué un rôle économique déterminant en matière de transport et comme pourvoyeur d'énergie, on lui reconnaît maintenant de nouvelles valeurs s'appuyant sur des contenus essentiellement culturels (symboliques, récréatifs, ludiques). Source de richesses matérielles, le fleuve devient également une source de richesses immatérielles et de satisfactions esthétiques et ludiques, pour le bien-être des citoyens qui prennent plaisir à flâner sur les berges paysagées.

Le livre à idées de la reconquête

Rendre les quais aux piétons

C'est un projet en cours dans de nombreuses villes de France. Cela pose évidemment des problèmes de circulation (où mettre les voitures ?).

- Les quais de Rouen ont été réaménagés pour les promeneurs, et sont le lieu de manifestations culturelles et de loisirs l'été (concerts, marché aux livres, rando rollers, armada...).
- À Paris, la municipalité souhaiterait interdire toute circulation sur les quais de Seine pour en faire un lieu de promenade. Cela a été fait en rive gauche...

Mise en valeur des quartiers en bord de fleuve (habitations, centres commerciaux, équipements de loisirs)

- Au Havre, revalorisation du quartier des Docks avec installation d'établissements universitaires (IUT), de centres culturels (salles de spectacles) et commerciaux.
- Lyon Confluence, au sud de la presqu'île lyonnaise, longtemps consacré à l'industrie et aux transports, fait aujourd'hui l'objet d'un projet d'aménagement progressif qui met en valeur un espace d'exception et des paysages uniques.

Réhabiliter des quartiers par la culture

Le cours d'eau a créé une fracture, une opposition de rives dans de nombreuses villes. Aujourd'hui, on cherche à recréer des liens, à redynamiser ces espaces.

- La Bibliothèque nationale de France avec le site François-Mitterrand (rive gauche), le pont Simone-de-Beauvoir, le parc de Bercy (rive droite).
- Le musée des Confluences, à Lyon.

Pourquoi construit-on encore des ponts aujourd'hui, et quels types de pont ?

- Un pont pour la circulation automobile et fluviale : le pont Flaubert à Rouen.
- Les ponts piétons pour favoriser l'accès à des quartiers isolés, conjointement à la mise en valeur de ceux-ci : le pont devant la Tate Modern à Londres, le pont Simone-de-Beauvoir à Paris, etc.

Le fleuve constitue en effet un élément de mémoire du lieu, un bien collectif que l'on aimerait aujourd'hui rendre plus accessible au plus grand nombre. On cherche à lui inventer une nouvelle fonction, de nouveaux usages, pour répondre aux aspirations des citoyens. Il s'agit notamment d'un besoin d'espaces naturels dans un environnement proche pour améliorer le cadre de vie. Il s'agit aussi d'utiliser le fort potentiel symbolique et identitaire pour améliorer l'image de la ville, aussi bien pour le citoyen concerné que pour les touristes potentiels. Par là même, on ouvre la voie à une redynamisation du cours d'eau comme moyen de transport ou lieu d'activités ludiques.

Un peu d'oxygène pour les petites rivières urbaines

Les petites rivières urbaines sont des rivières non domaniales, qui ne font pas partie du domaine public. Chaque propriétaire riverain du cours d'eau est responsable de l'entretien de la berge et du bon écoulement des eaux au droit de sa propriété, en échange des droits d'usage que lui confère le code rural (droit de pêche, droit d'irrigation, droit de prélèvements de matériaux...). Mais voilà, ce statut hérité de législations anciennes pose aujourd'hui la question de la bonne gestion de ces cours d'eau face à l'absence généralisée d'entretien : le morcellement foncier ne facilite pas les actions coordonnées, et les coûts des travaux sont souvent trop élevés pour être pris en charge par les seuls riverains.

Les rivières urbaines ont connu un destin assez semblable dans de nombreuses villes. Du ^{xvii}^e siècle jusqu'au milieu du ^{xix}^e siècle, la rivière avait des fonctions multiples et servait d'abord à l'alimentation des citoyens et des animaux, ainsi qu'à de multiples petites industries (tanneries, mégisseries, fabriques de colle, etc.) parfois implantées en amont des prises d'eau potable. La rivière faisait tourner les moulins en grand nombre, mais servait aussi à évacuer une part importante des déchets urbains. De fait, les sociétés ont entièrement modelé les rivières urbaines depuis le Moyen Âge, et leur cours ainsi que leur bassin ont été redessinés par des aménagements

successifs commandés par les usages. À la fin de l'Ancien Régime, les ingénieurs de l'État vont également recalibrer les rivières et les canaliser afin de faciliter l'écoulement pour éviter les inondations. Ce n'est pas peu dire que les conséquences écologiques ont été considérables !

Simultanément, avec l'appui des hygiénistes soucieux de lutter contre les odeurs et les maladies, on va enterrer les rivières urbaines, qui sont, pour certaines, recouvertes, et disparaissent du paysage quotidien. Elles acquièrent essentiellement une fonction d'égout pour l'évacuation des eaux usées domestiques et industrielles. On ne parle plus guère d'écologie... Mais, depuis quelques décennies, les petites rivières urbaines sont devenues un enjeu des politiques d'urbanisation. Elles fonctionnent comme marqueur identitaire dans une démarche de marketing territorial. On leur trouve de nouveaux usages : cadre de vie et mise en spectacle dans des projets d'aménagement urbain, lieux de détente et de loisirs, lieux patrimoniaux de mémoire architecturale ou industrielle, projet de naturalisation pour créer de nouveaux écosystèmes que l'on qualifiera de naturels (c'est tendance...), alors que la gestion du système reste très segmentée car il faut surtout éviter les inondations.

La Bièvre réhabilitée

La Bièvre est un petit affluent de la Seine long d'une quarantaine de kilomètres, qui prend sa source sur les plateaux de l'Essonne, avant de se jeter dans la Seine près de l'emplacement actuel de la gare d'Austerlitz. Elle a participé activement à l'industrialisation de la capitale (Le Roux, 2010). Depuis la fin des années 1980, la Bièvre, aujourd'hui enterrée dans sa section parisienne, suscite un regain d'intérêt de la part des pouvoirs publics et des citoyens. Un contrat de bassin 2010-2015 engage les acteurs locaux et les partenaires financiers autour d'un ambitieux projet de gestion de l'eau à l'échelle du bassin versant aval de la Bièvre, qui vise à ré-ouvrir progressivement la rivière, à réduire les pollutions et à rétablir la biodiversité (Carré *et al.*, 2011).

La trajectoire temporelle de l'anthroposystème Bièvre illustre bien le long processus d'artificialisation auquel il a été soumis. Rivière non navigable à cause de sa faible largeur, la Bièvre servit pendant longtemps de ressource en eau pour les jardins d'agrément. Divisée en deux lits dans Paris, dont l'un était canalisé pour optimiser l'énergie hydraulique, elle était aussi occupée par des moulins, des blanchisseries et des bassins de rouissage du chanvre. Vers la fin du xvi^e siècle, la manufacture royale des Gobelins s'installe dans l'ancienne teinturerie des Gobelins et se développe considérablement au bord de la Bièvre. Et c'est également sur la Bièvre que l'on délocalise les tanneries, les teinturiers et quelques brasseurs pour éviter de trop polluer la Seine (figure 13.1). *A posteriori*, cela revenait à sacrifier la Bièvre pour préserver la salubrité de la Seine, principale source d'approvisionnement en eau potable de Paris. La gestion de la Bièvre est alors dévolue à des syndics représentant les tanneurs, teinturiers et mégissiers, qui doivent en assurer l'entretien et le curage.

Un règlement de 1732 est très favorable aux industriels car il empêche la concurrence d'autres professions en interdisant aux lavandières et aux blanchisseurs de toiles d'exercer en amont de la manufacture royale. Jamais on ne mentionne l'odeur ou l'altération des eaux. Pourtant, au début des années 1770, les lavandières semblent avoir gagné la bataille de la colonisation du cours d'eau puisque plus de 300 tonneaux de blanchisseuses et 33 amidonniers sont recensés sur les berges parisiennes de la Bièvre, où ils côtoient 33 tanneurs, 2 brasseurs, 21 mégissiers et 3 teinturiers. En 1777, un commissaire des Eaux et Forêts décrit la Bièvre comme « très fangeuse par elle-même [...], sujette à se tarir dans les grandes chaleurs » et dont l'eau répand « dans tous les environs la puanteur et la corruption ». Il souligne que « le sieur de Buffon, directeur du Jardin des plantes, s'en plaint en particulier que l'odeur se porte sur ce jardin à un degré considérable et fort incommode pour ceux qui fréquentent cette école de botanique ».

Durant la période révolutionnaire et les années qui ont suivi, les diverses tentatives pour concilier l'industrie et la qualité des eaux se sont révélées vaines. On s'oriente alors vers une autre solution :

canaliser la rivière, un aménagement qui se révèle insuffisant au milieu du XIX^e siècle. Aux grands maux les grands remèdes : sur les recommandations des hygiénistes, on entreprend alors d'enfouir la Bièvre. Progressivement, tous les tronçons et les biefs de l'ancien cours d'eau furent comblés et leurs eaux envoyées dans le circuit des égouts. Le bief des Gobelins disparut en 1912. Et le processus de couverture s'est poursuivi à l'amont de Paris.



Figure 13.1 La Bièvre et ses tanneries.

Il était une fois la Bièvre, petite rivière de 33 kilomètres qui prenait sa source dans les Yvelines et se jetait dans la Seine, au niveau de la gare d'Austerlitz. Dans sa traversée de Paris, elle a alimenté des moulins à eau, et permis l'installation de métiers nécessitant une utilisation continue de l'eau (teinturiers, tanneurs, etc.). Ce faisant, elle est devenue un véritable égout à ciel ouvert, pollué et puant. Il fallait la faire disparaître et, à la suite des travaux du baron Haussmann qui avaient pour objectif d'assainir Paris, elle fut bétonnée et enterrée. Les Parisiens en ont oublié son existence !

En réalité, les tentatives actuelles de réappropriation de la rivière constituent le second cycle d'un processus qui a commencé à la fin du XIX^e siècle, quand on a décidé de couvrir le cours d'eau dans sa traversée de Paris. Victor Hugo (1831) a véhiculé la nostalgie d'une rivière bucolique et champêtre, où « l'âme contemple, écoute, adore, aspire ». À la fin du XIX^e siècle, les cartes postales exaltent le pittoresque de la rivière, assimilée au Vieux Paris qui disparaît avec les travaux d'Hausmann. « Ce pittoresque, ce sont des entrepôts, de vieux bâtiments délabrés, des tanneries, mégisseries, teintureries et blanchisseries, ainsi que des ateliers et des usines de produits chimiques, agro-alimentaires ou textiles, des établissements qui mêlent l'artisanat traditionnel à l'industrie plus moderne et qui polluent la rivière de leurs effluents. » (Le Roux, 2010)

L'Orge : une autre représentation du naturel...

Le Sage Orge-Yvette reconnaît l'importance des altérations irréversibles des fonctionnalités de l'Orge, suite aux aménagements (chenalisation, bétonnage d'une partie des berges, etc.). L'appréciation du cours d'eau par les habitants est beaucoup plus ambiguë. Ainsi, le cours de l'Orge est « naturel » pour les riverains. Le tracé plutôt rectiligne n'est pas compris comme une atteinte au bon fonctionnement de la rivière, l'eau étant décrite comme courante, accompagnée d'une flore et d'une faune. Certains aménagements, comme les bassins de rétention, ne sont pas considérés comme contradictoires avec le caractère naturel du cours d'eau. La dimension sauvage de la rivière est liée à la présence d'une faune que l'on estime exceptionnelle en milieu urbain. Les berges sont un lieu où l'on vient se ressourcer, même si l'on estime que la rivière est sale ou polluée. Les élus des communes de l'Orge aval sont les porte-parole des riverains inquiets, pour des raisons esthétiques, de l'abaissement de la hauteur d'eau à l'étiage... Ils s'interrogent sur les effets de la suppression des seuils sur la stabilité des berges et sur la gestion des inondations.

Une situation similaire se retrouve sur le Furan (figure 13.2), affluent de la Loire qui traverse Saint-Étienne. J. Ultsch (2010) parle, à

propos de l'évolution des relations ville-fleuve, du triptyque « âge d'or-répulsion-reconquête ». Dès la fin du XIX^e siècle, la couverture de la rivière est légitimée par des arguments « d'intérêt général » : lutter contre les odeurs pestilentielles et contre les maladies hydriques. La couverture, qui sera achevée dans les années 1980, consacre alors le Furan comme exutoire des eaux usées de la ville, comme un égout souterrain, tout en limitant les risques d'inondation.

Au cours de la période récente, des épisodes d'inondations dues au Furan, ainsi que des pollutions de la Loire par les eaux du Furan, ont suscité des programmes de dépollution et de restauration du milieu, accompagnés d'actions de communication autour du leitmotiv « redonner à la rivière sa vraie nature ». Un objectif revendiqué est d'améliorer le cadre de vie en ville, en faisant de la rivière un élément du décor urbain. On convoque ainsi le capital symbolique et imaginaire lié à l'eau, pas forcément la rivière comme système écologique.

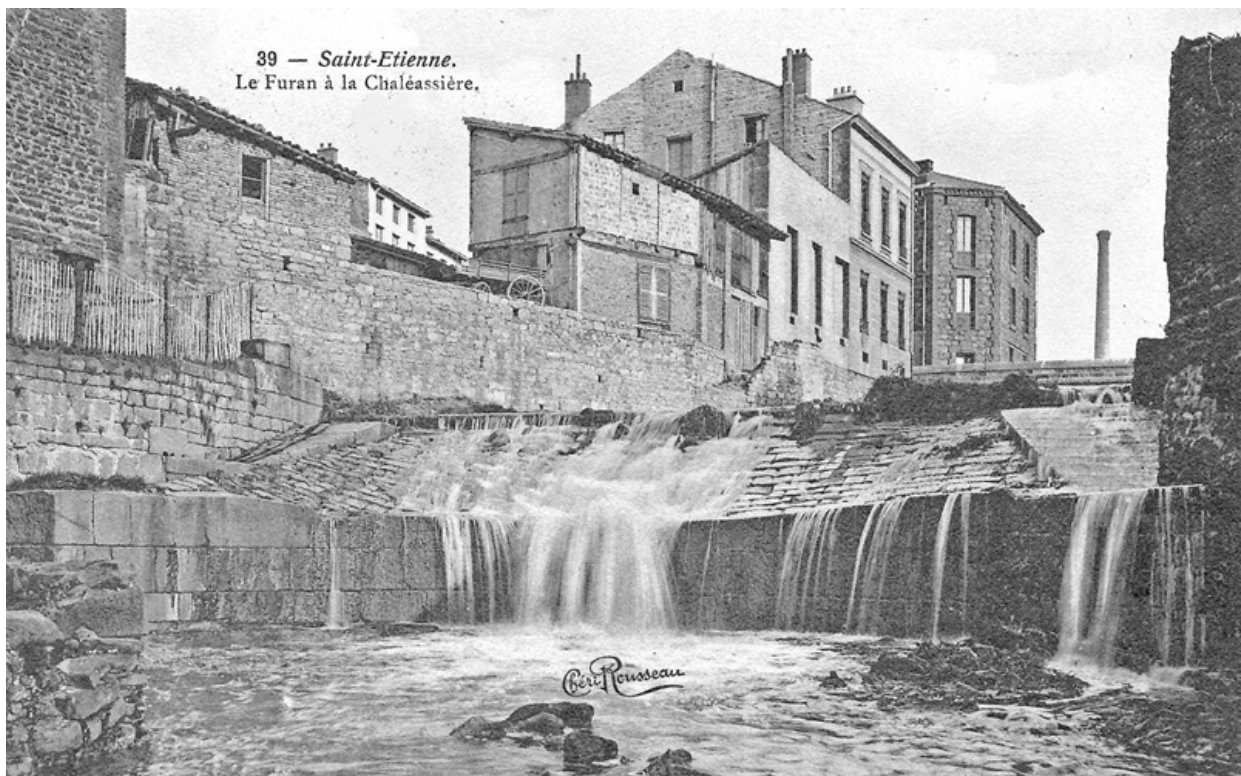


Figure 13.2 Il fut un temps où le Furan (le « furieux » en parler local) faisait mouvoir de nombreux moulins à soie.

On y trempait aussi l'acier des sabres et des épées pour le rendre plus dur et plus flexible.

L'agglomération lyonnaise à la reconquête des fleuves : l'esprit plan Bleu, ou le mythe du consensus

Derrière la façade des discours affichant le respect de l'environnement dans les projets de reconquête, la réalité est généralement plus prosaïque. La question fondamentale est la recherche d'un nouveau modèle de développement, d'une autre forme de valorisation (économique, récréative) de ces espaces fluviaux. Si l'écologie est souvent invoquée dans les opérations de réappropriation des fleuves par les villes (qui « redonnent vie » à leur fleuve), quelle est sa place réelle dans les projets ? Parle-t-on d'une valorisation esthétique, symbolique ou écologique ? De quelle écologie parle-t-on ? « Je me demande si, plutôt qu'une nature dans l'agglomération, il ne faudrait pas plutôt dire deux natures. Il y a la nature physique (incluant faune et flore) qui est plus forte que nous et puis il y en a une autre qui est plutôt celle pour le plaisir des yeux, celle qui est concernée par la renaturation. Je pense que ce ne sont pas les mêmes toutes les deux, pas les mêmes logiques. » (André Micoud, cité par Beauchêne, 2006)

L'agglomération lyonnaise, à l'instar d'autres mégapoles, s'emploie depuis quelques décennies à redonner toute sa place au Rhône dans l'environnement urbain. Il serait erroné de penser que la politique municipale, en matière de reconquête de ses fleuves, viserait, pour l'essentiel, la protection des espaces fluviaux naturels et la réhabilitation des espaces fluviaux dénaturés par les grands aménagements. Les dernières « zones naturelles » du Rhône, dans le secteur *intra muros*, sont vouées à être perturbées par des projets majeurs d'aménagement de la cité. Nombre d'associations dénoncent le « crime à la pelleteuse » perpétré contre le fleuve et ses

berges au nom de la restauration qui consiste souvent à privilégier l'aspect paysager et décoratif, mais parfois aussi, il faut le dire, à réduire les sources potentielles de risques pour le public. La protection des espaces fluviaux naturels est donc loin d'être un objectif dominant autour duquel serait organisée toute la « reconquête » du Rhône et de la Saône dans leur traversée de la ville. Cela supposerait que cette reconquête se fasse au détriment d'autres intérêts, tels que la protection contre les inondations, ou plus prosaïquement en gelant de l'espace foncier.

S. Bonin (2007) nous invite à reconsidérer de manière critique les discours présentant les villes qui « redonnent vie » à leur fleuve, « se réconcilient avec.. » ou « partent à la reconquête de... ». Elle nous dit clairement qu'il n'y a pas de lien entre les discours sur la reconquête et la prise en considération que les cours d'eau sont un milieu de vie en ville. Berges « naturelles », ripisylves, eau de qualité, ne sont pas les objets de cette reconquête. Ce type de préoccupation disparaît très tôt dans la mise en forme des deux projets urbains étudiés : les îles du Rhône en aval de Lyon et l'île de Nantes, sur la Loire. On retrouve des analyses similaires dans d'autres projets de reconquête, comme ceux des fleuves méditerranéens étudiés par Romain (2010). Le paysage fluvial apparaît comme un outil visuel majeur du discours politique concernant la reconquête. Ce rôle du fleuve en tant qu'infrastructure paysagère « est essentiellement fondé sur une image, plus que sur une matérialité physique ». Cette image, soumise à des désirs de consommation, prévaut sur le risque d'inondation que le fleuve torrentiel continue de constituer, risque précisément renforcé par ces pratiques urbanistiques. On occulte ainsi l'existence de phénomènes naturels qui imposeraient une urbanisation en recul du fleuve. On construit, par exemple, de nouveaux quartiers jouxtant le Lez, sans tenir compte des besoins d'expansion du fleuve. Comme le souligne Romain (2010), « le concept de nature est un argument majeur des discours sur ce "retour au fleuve", mais n'est toujours qu'un symbole convoqué dans la scénographie urbaine... Cette nature, qui fait figure d'un musée à ciel ouvert, ne semble devenir qu'un élément phagocyté par une maîtrise d'ouvrage, exprimant elle-même un discours politique sur la ville. »

Selon Claire Gerardot (2004), si les politiques de reconquête s'inscrivent dans la démarche écologique de protection des espaces fluviaux dits naturels, on ne perd pas de vue pour autant les fonctions économiques et industrielles du fleuve, ni le fait qu'il est un danger permanent en raison des crues. Pour fonder la reconquête, on peut s'appuyer sur des images produites par des discours. Ainsi, celui qui accompagne la reconquête des fleuves lyonnais consiste à imposer l'image de Lyon en tant que ville fluviale, sur la base d'une histoire plus ou moins idéalisée des relations entre les hommes et les fleuves. La « ville aux deux fleuves », la « ville des ponts, des quais et des bas-ports », doit tout aux fleuves, son existence, sa prospérité, mais aussi son identité et sa réputation. Il faut alors reconquérir le fleuve parce que c'est la nature même de la ville qui est en jeu. On touche ici au mythe fondateur.

L'histoire des relations de la ville de Lyon avec ses cours d'eau fait ainsi l'objet d'un discours très formaté, propagé par les élus, les médias, ainsi que des universitaires. Il aboutit à un découpage du temps en trois tranches :

- la première, qui va des origines de la cité jusqu'au XIX^e siècle, est intitulée « la ville au bord de l'eau ». C'est, selon le discours officiel, une période de symbiose, d'osmose de la ville avec ses cours d'eau, durant laquelle « l'homme s'accommode avec la nature » ;
- la deuxième (« la construction des quais ») est une période de rupture qui voit la ville et ses habitants tourner le dos au fleuve en raison de son artificialisation et de son industrialisation. Les ports s'éloignent du centre-ville, les berges ne sont plus accessibles car elles sont utilisées pour des infrastructures routières. Les barrages ont régulé les fleuves, qui sont devenus moins vivants... « Lentement, mais sûrement, Rhône et Saône ont disparu de l'inconscient collectif lyonnais. » ;
- la troisième est une période de réconciliation entamée durant les dernières décennies : la ville tente de renouer le contact avec ses cours d'eau. Deux démarches ont été engagées :
 - la première, qui a débuté dans les années 1960, a consisté à utiliser les zones demeurées proches de la nature pour en

faire des zones d'étalement des crues. On y admet les activités de loisirs liées à l'eau et une certaine forme de naturalité (observation de la nature), à l'exemple du parc de Miribel-Jonage ;

- la seconde a consisté à réhabiliter des espaces fluviaux dénaturés par les grands aménagements. Ainsi, le Rhône aval, celui des îles et des lônes, bénéficie d'un projet de reconquête véritablement pionnier dans la vallée du Rhône.

Ce schéma narratif est à la fois très simple et très manichéen, basé sur l'opposition contact/rupture, ce qui implique raccourcis, omissions et accommodations avec le réel. Le fleuve est ainsi le support d'un mythe fondateur et d'une nouvelle identité urbaine. C'est une figure classique des mythologies opposant les temps primordiaux de l'humanité, où tout était bien, à l'état actuel supposé « dégradé » par les activités humaines. D'un temps où l'homme n'avait que des faibles moyens techniques et vivait en contact avec le cours d'eau à l'état « naturel », à l'image d'un temps où les moyens techniques ont transformé et défiguré le fleuve. Ce dernier a ainsi perdu son identité, et les hommes ont simultanément perdu leur âme. C'est la fameuse quête de l'Eden que l'on retrouve aussi dans les représentations de la biodiversité !

Dans ce contexte, le terme de « reconquête » est d'abord l'expression d'une « pensée désirante », pour reprendre un terme utilisé par les psychiatres, afin de désigner une forme de pensée où nous ne voyons pas les choses comme elles sont, mais comme nous voudrions qu'elles soient. Cette forme de pensée se développe autour d'un principe simple : l'état ancien est un état idéal perdu, et le processus de reconquête symbolise le désir d'y revenir, dénonçant au passage l'état actuel, qui devient un repoussoir commun.

Globalement, les discours et les mythologies développées autour de Lyon et de son fleuve visent à créer les conditions d'une adhésion à un projet d'appropriation collective, à un sentiment d'appartenance à la ville. La reconquête s'impose alors d'elle-même, sans que l'on questionne plus avant les choix qui seront faits. La magie du consensus ainsi recherché rend le projet légitime en soi, tout en

évacuant les questions « pour qui ? », « pour quoi ? » « qui pourrait aller à l'encontre d'un projet qui allie intérêts économiques, écologiques et sociaux ? ». C'est l'esprit du plan Bleu : il y a une nouvelle philosophie, un élan irrésistible pour mettre en œuvre cette grande idée de la reconquête ! Pourtant, tout ne va pas sans problème, car la mémoire collective a toujours en tête les dernières crues dévastatrices, et les conflits entre acteurs concernant l'accès au fleuve sont toujours d'actualité.

Pour en savoir plus

Barthélemy C., Souchon Y., 2009. La restauration écologique du Rhône sous le double regard du sociologue et de l'écologue. *Natures, sciences, sociétés*, 17 : 113-121.

Barthélemy C., 2000. Nature populaire contre nature savante ? Rencontre entre pêcheurs au carrelet et gestionnaires autour de l'aloise du Rhône. *Bulletin français de pêche et pisciculture*, 357/358 : 461-468.

Beauchêne S., 2006. Les fleuves dans le processus de métropolisation de l'agglomération lyonnaise. Éditions MdfR.

Berque A., 1996. *Être humains sur la Terre*. Gallimard.

Bonin S., 2007. Fleuves en ville : enjeux écologiques et projets urbains. *Strates* (revue en ligne), 13.

Carré C. *et al.*, 2011. Les petites rivières urbaines d'Île-de-France. Découvrir leur fonctionnement pour comprendre les enjeux autour de leur gestion et de la reconquête de la qualité de l'eau. Piren Seine, fascicule 11. http://www.sisyphe.upmc.fr/piren_drupal6/?q=webfm_send/1008 (consulté le 23/11/2015).

Farge A., 1979. Vivre dans la rue à Paris au XVIII^e siècle. Gallimard.

Gerardot C., 2004. Les élus lyonnais et leurs fleuves : une reconquête en question. *Géocarrefour*, vol. 79/1.

Goubert J.-P., 1992. *La Conquête de l'eau – L'avènement de la santé à l'âge industriel*. Robert Laffont, coll. Les Hommes et l'histoire.

Guillerme A., 1993. Les temps de l'eau. La cité, l'eau et les techniques. Champ Vallon.

Jego Y., 2005. Des élus rassurés. Site [seineenpartage.fr](http://www.seineenpartage.fr/webmanager/contentimages/documents/doc460.pdf). <http://www.seineenpartage.fr/webmanager/contentimages/documents/doc460.pdf> (consulté le 23/11/2015).

Labasse J., 1989. Réflexions d'un géographe sur le couple ville-fleuve. Colloque « La ville et le fleuve » tenu dans le cadre du 112^e congrès national des sociétés savantes, Lyon, 21-25 avril 1987. Éditions du Comité des travaux historiques et scientifiques, p. 9-22.

Le Roux T., 2010. Une rivière industrielle avant l'industrialisation : la Bièvre et le fardeau de la prédestination, 1670-1830. *Géocarrefour*, vol. 85/3, p. 193-207 (sur le web).

Lechner G., 2006. Le fleuve dans la ville – La valorisation des berges en milieu urbain. Note de synthèse, Direction générale de l'urbanisme, de l'habitat et de la construction, centre documentaire de l'urbanisme.

Leguay J.-P., 1981. Un réseau urbain au Moyen Âge : les villes du Duché de Bretagne aux xvi^e et xv^e siècles. Maloine.

Collectif, 2006. *Le Rhône, un fleuve en devenir*. Maison du fleuve Rhône, éditions MdfR.

Merrien F.-X., 1994. *La bataille des eaux, l'hygiène à Rennes au xix^e siècle*. Presses universitaires de Rennes.

Romain F., 2010. La construction contemporaine des paysages fluviaux urbains. Le cas de deux villes nord-méditerranéennes,

Perpignan et Montpellier. Thèse AgroParisTech.

Sabbah, Catherine, Le retour à l'eau. Rives de villes. *Urbanisme*, n° 285, nov.-déc. 1995, p. 27-31.

Ultsch J., 2010. Les temporalités de l'interface ville-rivière à travers le cas de Saint-Étienne et du Furan. *Géocarrefour*, vol. 85/3, p. 209-219.

¹⁸Cité par Catherine Sabbah, Le retour à l'eau. Rives de villes, *Urbanisme*, n° 285, novembre-décembre 1995, p. 27-31.

Restauration : recréer la nature ? Ou l'adapter à nos besoins ?

« Le témoin, c'est bien entendu le fleuve d'autrefois, un Rhône impétueux, sauvage, agissant à sa guise, "irrégulier jusqu'à l'extravagance", dont Vauban disait qu'il était "incorrigible". Mais ce fleuve appartient au passé depuis que la technique, les exigences de l'économie, une entreprise grandiose qui s'achève à peine, l'ont transformé, domestiqué et du coup assagi. »

Fernand Braudel (1986)

De manière spontanée, le terme « restaurer » incite à penser qu'il s'agit de rétablir un état antérieur. Ce terme est d'ailleurs emprunté au vocabulaire muséographique : restaurer un meuble, c'est le remettre dans son état d'origine. Parler de restauration, c'est d'abord faire le constat que quelque chose ne va pas dans l'écosystème considéré. Pour simplifier, j'utiliserai ici les termes « restaurer » et « restauration » dans un sens générique qui englobe les différents types d'interventions affichant pour objectif d'améliorer l'état des systèmes écologiques. De manière générale, on met en cause les activités humaines, que ce soit en raison des pollutions ou des modifications morphologiques qui ont affecté le cours d'eau. Ces perturbations ont entraîné des changements que l'on estime « négatifs », dans le fonctionnement du système écologique. Ce qui suppose implicitement qu'il y aurait un système idéal qui fonctionnerait bien ?

Derrière l'idée de restauration se profile souvent une vision quelque peu idéologique selon laquelle l'action de l'homme dégrade *a priori* les systèmes écologiques. Pour certains, l'objectif en matière de restauration est de rétablir les communautés biologiques préexistantes. La nature idéale serait celle que l'homme n'a pas

modifiée... que l'on qualifie parfois d'« état pristine ». Leur ambition est ainsi de recréer des systèmes supposés « naturels », ce qui renvoie aux concepts de « santé des écosystèmes » ou « d'intégrité des écosystèmes », voire de « bon état écologique » au sens de la DCE, qui dérivent tous de la notion de système non perturbé à l'équilibre (voir chapitre 8). Mais, à moins d'éradiquer l'homme de la surface de la Terre, il faut admettre que nous devons rechercher des compromis entre la libre expression des processus écologiques et les contraintes liées aux aménagements et aux usages des systèmes écologiques. En d'autres termes, « il ne s'agit donc pas de privilégier la nature au détriment de l'homme, mais bien de travailler à rendre compatibles usages et préservation des écosystèmes » (Astee, 2013). Une vaste question qui interpelle l'écologie scientifique, mise alors en demeure de définir concrètement les objectifs que l'on doit se fixer quand on parle de préservation. Car, dans ce domaine de la conservation/restauration, on ne peut plus se contenter de slogans incantatoires tels que : « il faut restaurer la biodiversité » (de quelle biodiversité parle-t-on précisément ?) ou « préservons les services écologiques » (peut-on réellement les qualifier et les quantifier ?). Les gestionnaires ont besoin de recommandations concrètes et opérationnelles. La question « quelles natures voulons-nous ? » reste toujours d'actualité (Lévêque et Van der Leeuw, 2003).

Ne nous laissons pas abuser : souvent, nous jouons les apprentis sorciers car la restauration reste encore une science expérimentale soumise à de nombreux aléas. Il faut laisser du temps aux systèmes réhabilités et, même dans ces conditions, on ne maîtrise pas la trajectoire future, qui peut dépendre de facteurs de contrôle aléatoires. Les retours d'expérience ont souvent montré que l'écologie de la restauration n'était pas, et ne pouvait pas être une science exacte. Ce qui ne veut pas dire qu'elle soit inutile !

La nébuleuse de la restauration

Pendant longtemps, les politiques de gestion des cours d'eau ont été largement centrées sur l'entretien des aménagements hydrauliques et la préservation de la ressource en eau tant du point de vue quantitatif que qualitatif. En reconnaissant la valeur patrimoniale des grands migrateurs salmonicoles, la « loi pêche » de 1984 marque un premier tournant « écologique » en matière de gestion des cours d'eau. Puis, dans la loi du 3/01/1992, l'eau est qualifiée de « patrimoine commun de la Nation ».

Les années 2000 se caractérisent par une meilleure prise en compte de l'écologie des cours d'eau sous l'impulsion de la DCE (Barraud, 2011 ; Germaine et Barraud, 2013). On reconnaît le rôle structurant de la dynamique fluviale vis-à-vis de la diversité biologique, ce qui incite à agir directement sur la morphologie des milieux fluviaux afin de préserver ou de restaurer leurs fonctionnalités (Malavoi et Bravard, 2010). Et l'idée fait son chemin selon laquelle le rétablissement de la continuité écologique des cours d'eau est la condition nécessaire pour atteindre le bon état écologique. Cette idée est réaffirmée par la loi sur l'eau et les milieux aquatiques (Lema, 2006), et par le Grenelle de l'environnement (2007) à travers des mesures phares, comme la mise en place des trames vertes et bleues. Elle est formalisée par une série de mesures (Plan de préservation du saumon atlantique, 2008 ; Plan de gestion de l'anguille, 2010 ; Plan national de restauration de la continuité des cours d'eau, 2009 ; Stratégie nationale pour les poissons migrateurs, 2010). Les mesures les plus emblématiques qui sont envisagées concernent l'arasement des ouvrages considérés comme des obstacles aux migrations piscicoles ainsi qu'au transit sédimentaire.

Quoi qu'il en soit, face aux réalités du terrain, l'objectif de rétablir un état initial relève souvent de l'utopie. On a donc inventé de nouveaux termes pour contourner l'obstacle. Ainsi, le terme « réhabilitation » signifie que l'on modère ses ambitions en se fixant seulement pour objectif un retour partiel aux conditions préexistantes, par la réparation et la récupération de certains processus. Et puis, si on réduit encore ses prétentions, on parlera de « réaffectation » pour désigner une opération d'affectation d'un espace dégradé à un autre

usage pour lequel aucune référence historique n'est requise. À la limite, on parlera de « création » si l'on conduit une opération de transformation d'un écosystème en un autre qui n'existait pas auparavant à cet endroit, dans un passé récent. Ainsi, plusieurs grandes zones humides françaises (Sologne, Dombes, Marais poitevin, Camargue, etc.) sont tout simplement des créations !

Les grands principes d'un projet de restauration

Face aux dégradations des écosystèmes qui n'ont cessé d'augmenter, les pratiques et démarches de conservation ont évolué. À la protection d'espèces et d'espaces patrimoniaux, a succédé une gestion adaptative des écosystèmes. Selon l'état du site, différents moyens d'action existent. La protection peut être utilisée pour un milieu en relativement bon état. La réglementation permet de supprimer la cause de la perturbation. La réhabilitation est l'intervention qui redonne au système qui nous intéresse un degré donné de fonctionnement en termes de productivité, de biodiversité, etc. La restauration, en général impossible, cherche à rétablir un écosystème à un stade de fonctionnement antérieur à toute perturbation. Enfin, l'abandon s'impose parfois quand l'écosystème est trop dégradé (G. Barnaud, 2007).

Dans les faits, de nombreux travaux qualifiés de restaurations consistent en réalité à aménager les cours d'eau afin de leur redonner une plus belle allure. On parle alors de « renaturation ». Divers projets péri- ou intra-urbains sont ainsi réalisés par les grandes villes afin de reconquérir les rives de leurs cours d'eau, à la grande satisfaction des citoyens. Le plus souvent, on reverdit les berges par des plantations, de manière à obtenir de beaux paysages. On cherche aussi à développer des usages ludiques et des lieux de détente dans un environnement re-paysagé et re-naturé. L'objectif de protection de la biodiversité, lorsqu'il est affiché, ne sert en réalité qu'à la promotion de ces opérations, qui restent par ailleurs tout à fait légitimes dans leurs objectifs.

Les opérations de restauration se font souvent sous couvert d'écologie scientifique. Mais il semble que la culture écologique des gestionnaires, des législateurs et des mouvements de conservation de la nature soit parfois fort éloignée des avancées les plus récentes de l'écologie scientifique. Quelle est « l'écologie » qui alimente la réflexion des experts-gestionnaires ? Est-ce l'écologie qui accrédite

le mythe de systèmes naturels à l'état d'équilibre et évoluant vers un climax ? Ou bien intègre-t-elle les apports de l'écologie des perturbations, qui privilégie les notions de stress et de trajectoire spatiale et temporelle des systèmes écologiques ? Cette question est fondamentale quand on réalise des expertises et quand il s'agit d'informer et de diffuser les connaissances vers le public et les élus. Dans ce domaine, les associations militantes sont fort actives pour inculquer la pensée conservationniste d'une nature qui se porterait mieux sans l'homme, et louer les beautés de la rivière sauvage... qui ne correspond pas vraiment à la réalité de nos rivières anthropisées depuis des siècles. Ni, disons-le clairement, à l'attente des citoyens !

Pourquoi restaurer ?

Trois raisons principales sont avancées pour restaurer les systèmes écologiques dégradés, correspondant chacune à des finalités différentes :

- pour les mouvements conservationnistes, la nature a une valeur intrinsèque, et il convient de retrouver l'état initial du cours d'eau afin de redonner toute sa légitimité à la nature. La motivation est essentiellement de nature éthique, voire utopique ;
- basée sur les mêmes prémices mais avec une finalité différente, la restauration est parfois motivée par les bénéfices attendus de telles opérations : renaturer le bassin versant pour éviter l'érosion des sols, ou revégétaliser les berges pour assurer leur stabilité. La motivation est plutôt sécuritaire ou économique ;
- avec la seule préoccupation d'améliorer le cadre de vie, nombre de grandes métropoles établies à proximité des fleuves cherchent à renaturer les berges bétonnées et à les ouvrir au public comme lieux de détente et de loisirs. On parle alors de reconquête des berges, mais ce sont les aspects paysagers et sécuritaires qui dominent. La motivation relève alors du bien-être du citoyen.

Pour Osborne *et al.* (1993), la restauration, « c'est le rétablissement de la dynamique fluviale et des processus naturels, c'est-à-dire un

chenal stable, ou plutôt en équilibre dynamique, qui abrite un peuplement fonctionnellement diversifié et auto-entretenu conformément aux potentialités correspondant au type de cours d'eau ». Cependant, les scientifiques sont bien embarrassés quand il s'agit de définir précisément les termes utilisés (équilibre dynamique, diversifié, auto-entretenu, potentialités, etc.). Quel est précisément l'état que l'on souhaite atteindre ? Celui de notre enfance ? Ou celui de la période pré-industrielle ? Cairns (1991) a utilisé à ce propos la métaphore de la montre : sur quelle heure doit-on régler l'écosystème ?

On conçoit également toute la difficulté de définir un état supposé naturel pour les rivières européennes qui ont été modifiées par les aménagements successifs depuis des millénaires : beaucoup de zones inondables ont été utilisées pour l'agriculture ou l'élevage et beaucoup de rivières ont été modifiées pour fournir de l'énergie ou pour le transport. Comment définir concrètement la situation idéale à atteindre ? Elle peut être définie à partir de mesures effectuées à proximité du site à restaurer. Elle peut aussi être construite, à dire d'expert. De fait, l'idée de rétablir l'état original n'a pas beaucoup de sens sur le plan écologique (Palmer *et al.*, 2005), bien que cette perspective reste vivace dans bien des esprits. En réalité, toutes ces tentatives de définition sont à la limite de l'incantation dans la mesure où les concepts sont mal définis...

Système de référence

« Un écosystème est un système en évolution constante. Définir un état de référence ou un bon fonctionnement de référence qui correspondrait à un bon état écologique et dans lequel le système serait en équilibre et vers lequel on souhaiterait le faire tendre, est donc chose impossible dans l'absolu » (Astee, 2013).

« La référence identifiée comme objectif doit en principe décrire l'idéal à atteindre. Elle peut être définie à partir de mesures sur des sites existants et à proximité du site à restaurer. Elle peut aussi être construite à dire d'expert. Cette définition de la référence permet de donner une base plus réaliste à la planification de la restauration » (Astee, 2013).

Comment restaurer ?

En France, et plus largement en Europe, les gestionnaires de cours d'eau sont confrontés à un fort déficit de connaissances (peu de programmes interdisciplinaires) et à la rareté des retours d'expérience bien documentés dans la durée. Par exemple, des suivis fondés sur des protocoles standardisés concernant la réponse des cours d'eau après des effacements d'ouvrages font actuellement défaut. Cherchez l'erreur !

De fait, en matière de restauration écologique, les experts suivent généralement une « philosophie interventionniste, activiste et légitimante » justifiant leurs buts par des critères écologiques qu'ils estiment structurants. Cette légitimité de la science s'inscrit dans la tradition positiviste (Bravard, 2006). Mais, dans la réalité, prétendre gérer les écosystèmes naturels, c'est se confronter à la complexité des multiples interactions et des dynamiques spatio-temporelles qui sont encore mal connues, et donc mal maîtrisées. À ces incertitudes concernant le fonctionnement des écosystèmes s'ajoutent les incertitudes relatives aux techniques émergentes de l'ingénierie écologique. En outre, il faut aussi tenir compte de la manière dont tout un chacun perçoit le système à restaurer. C'est pourquoi il apparaît nécessaire d'élaborer des stratégies de restauration qui s'appuient également sur la perception des citoyens, ainsi que sur leurs attentes dans les domaines éthiques et esthétiques, tout autant que sur la connaissance scientifique.

Les variables du fonctionnement écologique

On peut identifier cinq classes principales de variables liées à l'usage des hydrosystèmes fluviaux, dont les modifications peuvent affecter le fonctionnement écologique. C'est sur ces variables que peuvent porter de manière significative les mesures de restauration :

- la qualité de l'eau : température, turbidité, oxygène dissous, composés organiques et inorganiques, métaux lourds, substances toxiques ;
- la structure de l'habitat : type de substrat, profondeur de l'eau et vitesse du courant, complexité spatiale et temporelle de l'habitat physique ;
- le régime hydrologique : débit, distribution temporelle des crues ;
- la source d'énergie : type, quantité, taille des particules du matériel organique entrant dans les rivières, variations saisonnières de la disponibilité en énergie ;
- les interactions biotiques : compétition, prédation, maladies, parasitisme, introductions d'espèces.

Quoi qu'il en soit, beaucoup d'écologues ont maintenant une recette magique en matière de restauration : recréer de l'hétérogénéité et de la variabilité. L'hétérogénéité, on la recrée par une diversification des habitats. Ainsi, pour Larsen (1996), le but fondamental de la restauration des écosystèmes fluviaux et péri-fluviaux est le rétablissement durable d'une variété d'habitats nécessaires pour reconstituer la diversité des biocénoses. Quant à la variabilité, elle est en grande partie liée aux cycles climatiques et hydrologiques. Or un certain nombre d'aménagements du passé avaient eu pour objectif de limiter cette variabilité, que ce soit en termes d'excès ou de pénurie d'eau.

Ingénierie écologique

Il existe de nombreuses définitions de l'ingénierie écologique qui font référence à la manipulation par l'homme de son environnement. La dernière définition en date serait : « l'ingénierie écologique désigne les savoirs scientifiques et des pratiques, y compris empiriques, mobilisables pour la gestion de milieux et de ressources, la conception, la réalisation et le suivi d'aménagement ou d'équipements inspirés de, ou basés sur les mécanismes qui gouvernent les systèmes écologiques. Elle fait appel à la manipulation, le plus souvent *in situ*, parfois en conditions contrôlées, de populations, de communautés ou d'écosystèmes, au pilotage de dynamiques naturelles et à l'évaluation de leurs effets désirables ou indésirables. C'est une ingénierie centrée sur le vivant envisagé comme moyen et comme objectif de l'action. » (CNRS et Cemagref, 2010^[19])

La longueur et la complexité de cette définition, par ailleurs très générale, laisse perplexe ! De manière plus pragmatique, l'Astee propose de retenir qu'il s'agit d'une « ingénierie répondant en même temps aux trois principes suivants :

- une finalité : améliorer, restaurer, conserver, ne pas dégrader la qualité d'un écosystème ;
- une démarche basée sur les principes de l'ingénierie, à savoir une approche technique rigoureuse dans la conception, la réalisation et l'évaluation des projets, basées sur les règles de l'art partagées et des connaissances scientifiques solides ;
- des outils, utilisant les processus naturels des écosystèmes. » (Astee, 2013)

Quoi qu'il en soit, on peut s'interroger sur les capacités de la science à proposer des mesures opérationnelles appropriables par les gestionnaires et visant à restaurer des écosystèmes. C'est une écologie de l'action qui nous est proposée en réaction, peut-être, à une écologie longtemps cantonnée aux études d'impacts et aux notices nécrologiques. Mais peut-on refaire ce qui a été défait,

comme on répare une voiture ou une installation électrique ? Il y a là une vision très mécaniste de la nature, qui suppose que l'on soit capable de contrôler les trajectoires des systèmes écologiques, un postulat qui est loin d'être démontré. Compte tenu des nombreuses incertitudes en matière de fonctionnement écologique, on peut dire que l'on sait ce que l'on ne veut pas, mais on ne sait pas nécessairement ce que l'on aura...

Un dernier point qui est loin d'être un détail : pour restaurer, il faut disposer de terrains sur lesquels on puisse agir. C'est l'un des obstacles principaux aux projets de restauration. En tout cas, c'est ce qui impose des limites aux projets d'envergure à l'échelle de l'hydrosystème. Il est peut-être envisagé de restaurer les zones inondables, mais il est peu probable que les riverains qui les utilisent souhaitent abandonner leurs biens. Dans ce contexte, la restauration ne peut être que partielle et sectorielle.

Recréer et diversifier les habitats

On peut dire très simplement que la restauration écologique consiste à recréer de l'hétérogénéité et de la variabilité pour retrouver une plus grande variété d'habitats. En d'autres termes, il s'agit d'agir sur les processus hydro-morphologiques qui contrôlent la dynamique des habitats aquatiques (comité de bassin Rhône-Méditerranée-Corse, 2011). Un des buts de la restauration écologique est donc de recréer des habitats fonctionnels, ce qui est une démarche assez pragmatique pour les cours d'eau.

En effet, les espèces ne sont présentes dans la rivière que si elles y trouvent les habitats dont elles ont besoin à chaque étape de leur cycle biologique. On cite souvent l'exemple du brochet, dont la raréfaction est liée à la quasi-disparition des prairies inondées dans lesquelles il vient frayer. La notion d'habitat n'est donc pas statique. Pour une espèce, il s'agit d'utiliser au mieux les caractéristiques du milieu et de ses ressources à différentes étapes de sa vie.

Au début des années 1990, le Piren-CNRS avait lancé un programme national de recherche « habitat poissons », rappelant que « l'habitat est une notion essentiellement dynamique, une référence spatiale et temporelle : la position qu'occupe à un instant donné un individu parvenu à un certain stade de développement, cherchant à optimiser le nécessaire compromis entre différentes contraintes biologiques et écologiques, dans un milieu lui-même très variable ».

On peut, de manière intuitive, penser que plus il y aura d'habitats différents, plus il y aura d'espèces présentes dans la rivière. En suivant ce raisonnement, on peut aussi penser que certaines activités humaines, en créant de nouveaux milieux, participent à enrichir localement la richesse en espèces du bassin. Ainsi, une rivière avec des seuils artificiels hébergera probablement plus d'espèces qu'une rivière sans obstacles car elle possédera des habitats d'eau calme auxquels sont inféodées d'autres espèces que les espèces d'eau courante... Tout ne serait donc pas aussi mauvais qu'on le dit généralement à propos des actions de l'homme sur la nature ?

Rétablir la connectivité avec les écosystèmes alluviaux

La plaine alluviale d'une rivière (son lit majeur) participe activement au fonctionnement du cours d'eau (chapitre 6). Mais, très souvent, les aménagements, et notamment les endiguements, ont réduit considérablement les contacts entre le fleuve, sa plaine d'inondation et les annexes fluviales. La situation typique des fleuves endigués, rectifiés et régulés comme le Rhône, le Rhin, ou le Mississippi est l'assèchement de la plaine alluviale résultant de la suppression des inondations. Les annexes fluviales (mares, bras morts, chenaux secondaires, etc.) disparaissent alors progressivement. On peut envisager de reconnecter ces milieux avec les eaux courantes du fleuve en ouvrant des brèches dans les digues, ou en creusant les bourrelets sédimentaires, de manière à assurer une alimentation quasi permanente en eau. On espère ainsi, en rétablissant les flux,

que ces milieux retrouveront leurs fonctions écologiques, notamment d'accueil pour les alevins...

Réhabilitation des gravières

La demande en sables et graviers pour le bâtiment est importante et, dans certaines régions, les gravières ont mité le paysage dans le lit majeur des fleuves. La valorisation des carrières en eau en milieu urbain est un aspect intéressant des mesures d'aménagement et de réhabilitation. Ainsi le lac de Créteil, à l'origine une carrière d'extraction de gypse et de graviers, est-il devenu un lieu d'attraction et de loisir au centre même d'une ville nouvelle. À une tout autre échelle, le parc de Miribel-Jonage (2 200 ha dans la banlieue lyonnaise), créé dans une logique d'aménagement du territoire dans la plaine alluviale du Rhône, a fait l'objet d'un réaménagement avec une triple finalité : espace de loisirs, réserve d'eau potable pour l'agglomération lyonnaise, zone d'expansion des crues.

Une attention particulière a été portée à la diversification des milieux terrestres et aquatiques, de telle sorte que le parc est également devenu un milieu attractif pour la faune et a été labellisé Natura 2000. On retrouve une démarche similaire dans la plaine de Forez située dans le lit de la Loire, au nord de Saint-Étienne. Les gravières ont été reconverties, des rives du fleuve ont été réaménagées pour permettre le passage de la crue, un marais réhabilité en frayère à brochets, etc. Le site a été lui aussi labellisé Natura 2000.

Conserver ou retrouver un espace de liberté

De nombreuses carrières d'exploitation de granulats (sable et graviers) se sont d'abord implantées dans le lit mineur des fleuves, où elles ont suscité des phénomènes d'érosion régressive qui sont à l'origine d'inconvénients majeurs, dont la déstabilisation d'ouvrages d'art (ponts, digues), l'enfoncement de la nappe alluviale, la modification des peuplements végétaux riverains (Malavoi, 1998). Les travaux de recalibrage, endiguement, enrochement, rectification ont eux aussi contribué à modifier et à perturber les processus d'ajustement du lit. L'effondrement du pont Wilson à Tours en 1978 fut le révélateur spectaculaire des impacts environnementaux de ces activités.

Les exploitations se sont alors reportées dans le lit majeur, en marge des fleuves, grâce à la construction de digues. Certaines vallées, comme celles de la Drôme, de l'Allier, de la Loire forézienne, de la

Moselle ou de l'Arve, ont été rectifiées et sont par endroits bordées d'un chapelet de gravières en eau. La principale conséquence de ces digues est de rendre irréversible le processus d'enfoncement du lit car la recharge du cours d'eau par érosion latérale devient difficile. Le concept d'espace de liberté est né de ce double constat de l'enfoncement des lits fluviaux et de l'impossibilité d'une récupération en cas d'endiguement.

Le principe de la mobilité latérale apparaît pour la première fois dans le Schéma d'aménagement des eaux de l'Allier (1981-1984), qui préconisait une « érosion d'utilité publique » rappelant que « l'érosion latérale contribue à remettre dans le lit des alluvions et à empêcher l'affaissement du profil en long de la rivière ». Simultanément, en 1983, la basse vallée de l'Ain a fait l'objet d'une étude scientifique motivée par le projet d'aménagement hydro-électrique de Loyettes. Cette étude a reconnu l'intérêt majeur du maintien des divagations de l'Ain, un argument suffisamment convaincant pour revendiquer l'abandon du projet.

L'espace de liberté est un concept de gestion. Il s'agit de délimiter l'espace qui doit assurer des fonctions telles que la réduction des crues, la gestion du stock sédimentaire alluvial, la protection de la ressource en eau potable, la conservation des écosystèmes riverains. Si on réduit durablement l'apport de sédiments par la construction de barrages par exemple, la rivière réagit en érodant le fond du lit, ou les berges, pour saturer à nouveau sa capacité de charriage. Si les berges sont protégées (végétation, enrochements), ce processus de rééquilibrage se produit exclusivement aux dépens du fond. Le concept d'espace de liberté vise à conserver cette capacité de recharge alluviale en délimitant une enveloppe au sein du lit majeur, qui serait dédiée au processus d'érosion latérale. Ce concept a été repris dans les Sdage.

La compensation : retour au troc ?

Le terme générique « compensation », ou mitigation (terme du vieux français qui veut dire « atténuer »), désigne l'ensemble du processus de gestion des impacts environnementaux fondé sur le triptyque : éviter > réduire > compenser (ERC). Dès 1976, le code de l'environnement introduit en droit français la notion de compensation, mais cette démarche n'a été clairement définie que dernièrement (Medde, 2012a ; Commissariat général au développement durable, 2013). Compenser, c'est « apporter une contrepartie aux effets négatifs notables, directs ou indirects, d'un projet qui n'ont pu être évités ou suffisamment réduits ». « Les mesures doivent permettre de conserver globalement et, si possible, d'améliorer la qualité environnementale des milieux » (art. R. 122-14-1 du code de l'environnement relatif aux études d'impacts).

La « compensation » est donc la réparation en nature des impacts résiduels significatifs d'un projet, lorsque les mesures d'évitement et de réduction n'ont pas été suffisantes. En théorie, on peut compenser des espèces ou des milieux ; on peut compenser des superficies comme cela se fait aux États-Unis, par exemple ; on peut compenser des fonctions écologiques. En France, on a retenu le principe que tout n'est pas compensable, c'est-à-dire que parfois il ne faut pas détruire car on ne peut pas compenser. Ce n'est donc pas, comme certains le disent, une démarche du type « droit à polluer », mais ils aimeraient bien qu'il en soit ainsi...

Il est vrai que la notion de compensation tire en partie son origine des mesures de *mitigation banking* développées dans le cadre réglementaire du Clean Water Act (1972) aux États-Unis. Le développeur doit compenser tout dommage résiduel causé aux zones humides, soit par le développement d'actions qui restaurent, recréent ou protègent des zones humides d'importance écologique équivalente, soit par le paiement d'une tierce partie pour que ces activités soient réalisées. Bien souvent, ces tierces parties se créent une « réserve » de territoires de compensation qu'elles achètent, aménagent et mettent à la disposition de l'aménageur, d'où la notion de « banque de compensation » ; dans ce cas, la compensation peut même précéder l'acte de dégradation d'un écosystème, et pas

nécessairement dans une zone proche du site dégradé... Une usine à gaz comme les aiment les économistes, qui devient un véritable business, loin de l'esprit initial !

La compensation s'impose de plus en plus avec les directives européennes, les lois du Grenelle, la sensibilité écologique. Mais l'instruction des dossiers laisse souvent à désirer, et les textes restent souvent lettre morte. Les résultats, quant à eux, ne sont pas toujours à la hauteur. Ainsi, l'extension du port du Havre (Port 2000) s'est accompagnée très régulièrement de mesures compensatoires, parmi lesquelles un reposoir sur dunes pour remplacer une zone de berge détruite, très fréquentée par les oiseaux. Pas de chance, les oiseaux boudent cette nouvelle résidence, que les écologues avaient pourtant aménagée pour eux ! On ne peut pas tout prévoir...

Les citoyens, eux aussi, ont des attentes...

Une idée largement répandue est que la restauration s'appuie sur une démarche scientifique, dans un but de conservation de la biodiversité, cette dernière ayant été érigée en baromètre du succès des opérations dans beaucoup de projets de restauration. Ce n'est pourtant pas la préoccupation principale des citoyens, dont les motivations s'appuient le plus souvent sur des représentations de la nature basées sur des considérations éthiques ou émotionnelles : il s'agit de « retrouver la rivière de mon enfance » ou de renaturer des milieux dégradés, pour des raisons esthétiques. Il faut recréer des « rivières sauvages » osait dire un représentant ministériel lors de journées d'étude sur la restauration. Une posture on ne peut plus idéologique sur le plan écologique, mais qui trouve un écho dans l'imaginaire collectif !

Sur le plan local, les citoyens sont finalement peu consultés : l'État et les ONG, certains de leur bon droit, ignorent ou marginalisent les dimensions sociale et économique des mesures environnementales. Alors que la DCE a instauré le principe de concertation en matière de gouvernance, celui-ci est très peu appliqué sur le terrain. Ou

alors on le trouve sous des formes bien moins ambitieuses : consultation formelle par questionnaires, informations plus ou moins accessibles, etc. Il est symptomatique que l'on demande souvent aux sciences sociales de travailler sur la question de l'acceptabilité des mesures. La démarche est tendancieuse : il ne s'agit pas de prendre la température de la société pour décider des mesures à prendre, mais de trouver comment faire accepter par le citoyen des mesures déjà prises dans les sphères politico-administratives !

Or le citoyen aurait peut-être son mot à dire. Certains ont une vision négative de la rivière, entretenue par plusieurs événements récents d'inondations catastrophiques. La rivière canalisée ou équipée de barrages est perçue (à tort ou à raison) comme le résultat d'aménagements successifs qui ont permis de limiter les risques. Le citoyen aimerait que l'état actuel, résultat empirique d'aménagements successifs, ne soit pas remis en cause sans de fortes garanties de sécurité, ce qui provoque parfois de vifs échanges !

Il faut dire très clairement que les notions à la mode dans les sphères scientifiques et gestionnaires, telles que « biodiversité » et « services écosystémiques » ne font pas florès après du grand public. Une démarche trop abstraite mettant en avant les « services rendus par les écosystèmes », que l'on a par ailleurs du mal à expliciter clairement, n'est pas de nature à entraîner l'adhésion du public. Sans compter que les opérations d'aménagement sont perçues par une frange importante des riverains comme un « luxe inutile » à l'heure où la dépense publique est limitée.

Un fleuve vif et courant ?

Dans notre imaginaire, on associe généralement les fleuves et rivières à des eaux vives qui cascaded. C'est sous cette forme que l'on aime se représenter les rivières de notre jeunesse, et l'argument « retrouver les rivières de mon enfance » est parfois évoqué comme objectif de la restauration des cours d'eau. S'il ne constitue pas un objectif scientifique, il n'en représente pas moins un argument de poids, souvent mieux reçu par le public que les arguments de nature économique.

Le Programme de restauration hydraulique et écologique du Rhône, partie prenante du plan Rhône, répond ainsi à la demande des collectivités riveraines du Rhône de

« retrouver un fleuve vif et courant ». Il se fixait néanmoins des objectifs plus concrets :

- une augmentation du débit réservé dans les sections court-circuitées du Rhône (le vieux Rhône) ;
- la restauration des voies de migrations (alose, anguille, lamproies) ;
- la restauration des annexes fluviales (les lônes, ou bras morts).

La mobilisation autour des espèces emblématiques

Pour le public qui n'a pas accès aux rapports techniques et aux résultats d'analyse, voir des débris flotter à la surface est un signe que l'eau est polluée, ce qui n'est pas nécessairement vrai. Mais l'image de poissons morts flottant en surface par suite d'une pollution massive est un grand classique de la communication qui correspond à une réalité. Dans ce contexte, le poisson sert en quelque sorte de médiateur et permet une prise directe avec le terrain. Plusieurs projets de restauration de cours d'eau en Europe ont ainsi choisi des poissons comme espèces emblématiques, et plus particulièrement le saumon, pour communiquer avec le public sur la qualité de l'eau. Une espèce emblématique possède en effet une valeur symbolique que l'on utilise pour donner un sens à des projets de conservation ou de restauration en milieu aquatique (Rochard *et al.*, 2006). Ce sont en général des espèces qui jouissent d'une grande popularité du fait de leur taille, de leurs qualités intrinsèques réelles ou supposées, ou encore parce qu'elles sont menacées d'extinction. Plus modestement, on peut parler d'espèces phares lorsqu'elles caractérisent symboliquement certains types de milieu : l'éperlan pour la partie aval de la Seine, la grande alose pour la partie amont.

Les scientifiques ont tendance également à privilégier les poissons comme révélateurs de la qualité des eaux, dans la mesure où ce sont des espèces à durée de vie assez longue, en fin de chaîne trophique. Le saumon atlantique est ainsi une espèce doublement emblématique, dont le déclin a été relaté abondamment. Il a progressivement disparu au début du ^{xx}e siècle du bassin de la Seine, comme les autres migrateurs (esturgeon, grande alose, lamproie marine), alors qu'autrefois il constituait une ressource

substantielle pour les pêcheurs. On en garde des souvenirs émus et nostalgiques : « le saumon, on l'travaillait au filet dérivant de nuit. J'ai vu à cette époque-là (en 1920) des petits saumons de 5, 6 livres, en prendre 12, 15 dans la journée. Le plus gros que j'ai pris, il faisait 23 livres, c'était un monument. Le plus beau que mon père a pris, il faisait 42 livres, il était aussi long que la table » (Degrémont et Lévêque, 2012). Le saumon « parle » au citoyen, c'est un objet concret que l'on aimerait retrouver. Il a d'ailleurs servi de porte-drapeau dans des projets de grande ampleur comme la restauration de la Tamise ou du Rhin.

Le retour du saumon, signe positif de l'amélioration de la qualité des eaux ?

En août 2009, scientifiques et pêcheurs ont constaté que le saumon et d'autres espèces de poissons migrateurs sont de retour dans la Seine, signe d'une très nette amélioration de la qualité de l'eau du fleuve, dans la mesure où aucune opération de réintroduction n'a eu lieu. « Il y a de plus en plus de poissons qui remontent la Seine. Cette année, ça dépasse tout ce qu'on avait pu imaginer : on doit en être à un millier de saumons qui ont traversé Paris », estime Bernard Breton, secrétaire général de la Fédération nationale de la pêche en France (FNPF).

La corde sensible de la démarche patrimoniale

La patrimonialisation peut se définir comme un phénomène d'appropriation de certains objets par des groupes sociaux qui mettent en exergue des valeurs telles que la rareté, la singularité, l'esthétique, etc., afin de pouvoir conserver ces objets à titre de témoignage, ou de mémoire collective. Au travers du patrimoine, il y peut y avoir une véritable quête de racines, la volonté de rechercher et de préserver des jalons identitaires.

Pour Bouisset et Degrémont (2013), la patrimonialisation de la nature ne relève pas de la même démarche que celle concernant les œuvres humaines. Il s'agit au contraire de préserver ce que l'homme n'a pas ou peu modifié, en même temps qu'il prenait possession des « lieux ». « Dès lors, le processus de mise en patrimoine de la nature ne porte pas sur ce que l'humain a édifié, mais sur ce que l'humain n'a pas ou a peu touché. C'est pourquoi les sciences de la

vie et de la Terre, et particulièrement l'écologie, ont largement intégré dans leur problématique les idées de protection – contre l'œuvre destructrice de l'homme – et de conservation – donc de gestion pour garder une trace – de la nature, de l'écosystème ou de la biodiversité originels si l'on reprend les grandes distinctions terminologiques de l'écologie. » Dans cet esprit, les patrimoines naturels ont souvent été considérés comme des « cathédrales » de la nature, et traités comme de quasi-monuments, à l'exemple des aires protégées. Le patrimoine naturel, pour le système français de comptabilité, est « l'ensemble des biens dont l'existence, la production et la reproduction sont le résultat de l'activité de la nature, même si les objets qui le composent subissent des modifications du fait de l'Homme » (Insee, 1986).

Ces approches de la notion de patrimoine s'inscrivent dans la tradition d'une nature sans l'homme, et confortent le mythe de la nature vierge. On peut s'inquiéter de l'opérationnalité d'une telle démarche quand on sait que nos systèmes écologiques européens sont presque tous anthropisés ! Ce qui ne semble pas gêner ses partisans...

Un autre point de vue, assez différent, et bien plus réaliste, associe nature (ou ses représentations) et anthropisation. Les étangs des Dombes ou de Brenne, les divers bocages, les alpages, sont des co-constructions de l'homme et de la nature, et ne sont pas fondamentalement différents, à ce titre, du patrimoine bâti. Leur valeur écologique n'en est pas moins reconnue comme remarquable. En outre, dans un monde où de nombreuses activités traditionnelles sont en déclin, certains types de milieux ou de paysages liés à un type d'activité économique deviennent rares et peuvent acquérir le statut de témoins du passé que l'on aimerait protéger et conserver. Pour compliquer encore la question, les systèmes agricoles ou forestiers traditionnels constituent, dans l'imaginaire collectif, des exemples d'une maîtrise harmonieuse de la nature par les hommes, et ne sont pas perçus comme des dégradations. Ces témoins d'un passé révolu, à l'exemple de la forêt

de Tronçais plantée par Colbert en 1670 pour fournir du bois de qualité à la marine royale, on souhaite les préserver !

Si l'on considère que la nature, en France, correspond en réalité à une diversité biologique hybride, et que l'état écologique des milieux dits naturels doit tout autant à l'action de l'homme qu'aux processus spontanés, la dichotomie patrimoine culturel/patrimoine naturel n'est plus de mise ! C'est dans cet esprit qu'a été proposée la notion de « biopatrimoine » (équivalent de l'anglais *bioheritage*), qui qualifie nos « milieux naturels » européens, fruits de l'évolution naturelle et des activités anthropiques, notamment par les usages dont font l'objet ces systèmes écologiques. On parle aussi à ce propos de « nature culturelle ». Ce sont les techniques et les pratiques qui maintiennent ces milieux en l'état et, dans le domaine de la conservation, il n'est pas rare en effet de faire appel aux pratiques agro-sylvo-pastorales traditionnelles pour conserver les qualités biopatrimoniales de ces milieux. Le biopatrimoine est indissociable de la notion de « biohistoire ». « La biohistoire est fille de l'écologie en reconnaissant l'Homme comme un des facteurs déterminant la structure et le fonctionnement des écosystèmes au même titre que le sol ou le climat » (C. Perrein, 1993).

Le problème soulevé par l'application des mesures de compensation prévues dans le cadre du projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes pose clairement la question du statut patrimonial des zones humides de plateaux et des ruisseaux de têtes de bassin qui s'inscrivent dans un paysage agricole. Ces terres ont été achetées par la puissance publique il y a une cinquantaine d'années en prévision de la construction déjà envisagée de l'aéroport. La perspective de la réalisation de ce projet a incité les agriculteurs à y maintenir des pratiques agricoles extensives, alors que l'agriculture aux alentours mettait en place des pratiques plus intensives. C'est l'absence d'intensification résultant d'un changement d'affectation des terres qui a permis de conserver des habitats et des espèces correspondant au type de système agricole qui existait autrefois à cet endroit, lorsque les terres ont été gelées. C'est un témoin du passé, mais il ne s'agit en aucun cas d'un « système naturel » : c'est

un système anthropisé qui devrait, à la lettre, être compensé à l'équivalent si on le détruit ! Problème...

Cette patrimonialisation de sites et de paysages anthropisés pose immédiatement la question du maintien (ou non) des activités et des pratiques qui ont permis de créer et de gérer ces systèmes. Ce qui soulève également une autre question de fond : devons-nous, au nom d'une démarche patrimoniale, entraver toute évolution des activités agricoles, ou d'autres projets d'aménagement, qui auraient évidemment pour conséquences des changements dans les pratiques et les paysages ?

Les paysages comme médiateurs

Le citoyen a du mal à se rendre compte par lui-même de la qualité des systèmes écologiques, car la pollution est invisible et la biodiversité reste un concept trop général, voire abscons. C'est parfois grâce à des indicateurs qu'il va asseoir son opinion : la présence de poissons pour le pêcheur, la présence d'oiseaux ou de plantes auxquelles il attache une valeur esthétique ou sentimentale. Mais les enquêtes réalisées ont mis en exergue l'importance du critère « paysage » dans les jugements qui sont portés sur la qualité des milieux aquatiques, avant ou après restauration. Le rendu visuel des travaux, c'est-à-dire la qualité paysagère, prend souvent le pas sur d'autres critères plus « écologiques ».

Toutefois, cette demande de paysage est une notion complexe. Elle recouvre à la fois l'organisation physique de l'espace dont la rivière est une composante, et la relation affective qu'entretient un individu, qu'il soit simple observateur ou acteur économique, avec cet espace vécu et perçu.

Il est fréquent que l'intérêt pour les paysages exceptionnels, les paysages emblématiques nous fassent oublier l'importance de nos paysages quotidiens, ceux de nos trajets domicile-travail, ceux qui constituent notre cadre de vie. Les paysages doivent être abordés dans leur diversité (Menguy, 2007).

Le paysage n'exprime pas un concret, il est la lecture que nous en faisons en la dissociant complètement du réel, et si néanmoins un mouvement s'opère effectivement entre le réel et le regard, il y a rupture dès le point de départ (Lassus, 1994).

Pratiques-usages-représentations

Les sociologues de la Maison du Rhône ont constaté, dans leurs enquêtes, que les riverains semblent porter assez peu d'attention aux actions de restauration, même si elles ont des effets visibles. Pour tenter de comprendre ce paradoxe, ils ont émis l'hypothèse que le « triptyque » pratiques-usages-représentations devrait permettre de comprendre comment se construit le rapport à l'eau dans notre société contemporaine, et quels sont les leviers que l'on pourrait activer afin de susciter un renouveau d'intérêt de leur part.

Honneger et Vincent (2009) ont clairement montré que l'intérêt qu'un individu porte au cours d'eau relève de deux problématiques : une pratique de la rivière (professionnelle ou de loisir) et/ou la mémoire d'un événement marquant et vécu (inondation, pollution majeure, etc.).

Le fait d'habiter au bord de l'eau ne renvoie pas systématiquement à une sensibilité effective vis-à-vis de la rivière. Pour beaucoup de riverains, la rivière relève du cadre de vie. Elle est un élément du décor qui valorise une résidence (les habitations avec vue sur l'eau coûtent plus cher !) et introduit, ce faisant, un élément positif dans le cadre de vie. La relation au cours d'eau reste informelle si l'individu n'a pas une pratique effective du fleuve qui l'amène à considérer la rivière comme un objet dont il se préoccupe, et non pas seulement comme un élément de décor. On parlerait plutôt d'« usage » du cours d'eau. À l'image des « usagers de la route », il y a des usagers des espaces aquatiques qui les utilisent comme des espaces de consommation. Ainsi, un promeneur au bord de la rivière est d'abord un consommateur d'espace qui profite des aménités offertes sans pour autant avoir une relation privilégiée avec le cours d'eau.

La pratique, quant à elle, relève d'une action s'inscrivant dans une interaction avec le cours d'eau au sens où elle repose sur une connaissance du milieu physique qui est une condition de sa mise en œuvre. La pêche, le kayak, sont ainsi des activités qui, de fait, ne peuvent se conduire sans un ensemble de savoirs et savoir-faire. Cependant, même pour ceux qui ont une pratique du cours d'eau, cette approche reste souvent sectorielle (la qualité de l'eau pour le pêcheur, le risque d'inondation pour le riverain), et le citoyen n'a pas souvent une vision d'ensemble du cours d'eau.

La distinction entre pratique et usage est donc beaucoup plus opératoire que la notion de « riverain », car elle permet de repérer des individus qui entretiennent un rapport construit avec le cours d'eau, mettant en jeu un ensemble de savoirs et de connaissances, ainsi que des formes de relations sociales. Dans une perspective de développer des actions de sensibilisation, c'est donc autour des pratiques qu'il faudrait s'orienter.

D'une manière générale, il semble que les valeurs récréatives et esthétiques légitiment, aux yeux du public, la préservation des écosystèmes. Plus un individu jugera qu'une rivière est belle, plus il se sentira impliqué dans sa préservation. Plus le projet de restauration met en avant l'esthétique, plus le citoyen est enclin à le soutenir. On peut en tirer comme enseignement que des paysages faisant appel au « design » et au génie écologique font partie des attentes des citoyens. C'est dans ce cadre que l'on pourra intégrer la « véloroute », un aménagement perçu très favorablement par bon nombre de personnes.

Pourquoi restaurer les lônes du Rhône ?

Au XIX^e siècle, les plaines alluviales du Rhône et de l'Ain formaient des mosaïques de chenaux qui se déplaçaient à la faveur des crues. Certains d'entre eux, étant régulièrement abandonnés, formaient les bras morts. Appelés localement « lônes », ils incarnent aux yeux des acteurs locaux la richesse du patrimoine fluvial. Cependant, au cours des dernières décennies, les lônes ont connu une forte régression en raison des aménagements du fleuve. L'intérêt alors porté à la dynamique sédimentaire dans les annexes fluviales a mis en évidence le vieillissement des lônes. Celles-ci n'étant plus renouvelées par les processus naturels, leur restauration est alors préconisée (Bravard, 2006).

Cette politique de restauration mise en place au début des années 2000 s'est accompagnée d'études de perception paysagère (Cottet-Tronchère, 2010) en vue de mieux connaître les attentes du public et de préciser les objectifs des projets de restauration. Les indicateurs retenus devaient être non seulement écologiques, mais aussi esthétiques. Le paysage est donc appréhendé dans cette étude dans sa double composante, biophysique et socio-culturelle. Il répond à la définition donnée dans la Convention européenne du paysage, à savoir « une partie de territoire telle que perçue par les populations, dont le caractère résulte de l'action de facteurs naturels

et/ou humains et de leurs interrelations » (Conseil de l'Europe, 2000).

Selon l'étude réalisée par Marylise Cottet-Tronchère, les riverains attribuaient aux lînes divers types de valeurs.

- Des valeurs d'usage
 - - la valeur productive se réfère à la fonction de production biologique, essentiellement agricole (pâturages, cueillette de champignons, pêche, etc.) et sylvicole (bois) ;
 - la valeur marchande : le paysage est envisagé comme un élément de marketing, dans le cadre du développement touristique comme dans la promotion de produits « du terroir ». L'exploitation des bras morts créait aussi un complément de revenus ;
 - la valeur de loisir envisage le paysage comme un cadre pour accomplir des activités récréatives. Le paysage est là pour qu'on en profite, c'est un espace de détente qui doit être accessible. Les bras morts sont surtout des lieux d'activités de chasse et de pêche, car ils permettent des pratiques difficiles à mettre en œuvre dans les chenaux principaux ; sans compter le canotage ;
 - la valeur d'habitat envisage le paysage comme cadre de vie. Elle apprécie, dans un paysage, la qualité de vie des habitants. Car les bras morts faisaient partie du territoire communal, constituaient une composante de l'espace public et du cadre de vie.
- Des valeurs de non-usage
 - - la valeur biologique correspond au discours écologique. Elle se préoccupe de la diversité des espèces. Mais l'attention portée à la faune et à la flore est fortement liée à la pratique des loisirs de chasse et de pêche. L'abondance et la diversité des espèces ne sont pas appréciées en tant que telle ;
 - la valeur esthétique envisage le paysage sous l'angle de la beauté, des formes. C'est le regard du peintre qui s'attache

à la composition des éléments, à l'harmonie des formes et des couleurs. Cette beauté émane d'attributs paysagers aussi variés que la végétation aquatique, la faune, la végétation alluviale, l'eau, ou encore la forme du chenal. Cependant, cette beauté associée à la lône n'est en rien une beauté statique, figée dans le marbre. Les paysages de bras morts sont en recomposition permanente ;

- la valeur sacrée se rapporte à tout ce qui touche au caractère sacré de la nature et à un rapport entre l'homme et la nature vécu sur un plan mystique. Appliquée au paysage, elle évoque, par exemple, le ressourcement que procure la contemplation d'un paysage. La quasi-totalité des discours attribuent aux paysages de bras morts une valeur qui relève du sacré. Ces derniers sont en effet décrits comme des lieux calmes, tranquilles, et sources d'apaisement. Ces paysages incarnaient des espaces vierges de toute empreinte anthropique. C'est à ce titre qu'ils étaient appréciés ;
- la valeur identitaire et patrimoniale regroupe deux dimensions du paysage : le paysage comme objet d'une projection identitaire individuelle et le paysage comme patrimoine collectif. Les bras morts apparaissent en effet comme des biens communs, porteurs d'une identité, et qu'il importe de préserver et de transmettre aux générations futures. Cette valeur patrimoniale associée aux paysages de bras morts était avant tout fondée par leur statut juridique spécifique. Territoires le plus souvent publics, ces terrains communaux étaient dédiés à une exploitation collective. En ce sens, ils sont décrits dans les discours comme des biens communs et étaient, en tant que tels, respectés et préservés.

L'analyse des discours suggère que les paysages d'antan, ceux de notre enfance, sont perçus comme un âge d'or, alors que les évolutions qui ont affecté par la suite les bras morts sont perçues comme une dégradation. Cet âge d'or, concernant les bras morts, correspond à une période au cours de laquelle les paysages avaient

une grande valeur d'usage pour les sociétés locales. Ils représentaient à cette époque une réelle ressource, et constituaient un maillon indispensable de l'économie locale. Par ailleurs, l'exploitation des bras morts conduisait les habitants à les fréquenter régulièrement, de telle sorte qu'ils tissaient avec ces paysages des relations parfois très intimes, leur associant des valeurs de non-usage, biologique, esthétique, sacrée ou patrimoniale.

Cette image des paysages de bras morts apparaît davantage comme un souvenir, ancré dans les mémoires. Les personnes interrogées ont bien conscience que ces bras morts ne sont plus que le reflet d'une époque révolue. Elles ont aussi conscience que les enjeux actuels ne sont plus les mêmes qu'autrefois. Elles jugent obsolète le système économique et social d'antan, et constatent que ce qui relie les individus aux paysages n'est plus aujourd'hui d'ordre alimentaire, mais se rapporte aux loisirs, au patrimoine naturel et culturel et à la qualité du cadre de vie. Ainsi, les individus interrogés ont conscience que les évolutions ayant touché les paysages de bras morts, sont irréversibles et que l'âge d'or est bel et bien de l'ordre du passé. Ce qui n'empêche pas qu'il y ait toujours une certaine nostalgie des paysages d'antan... Mais on ne peut nier que les liens unissant les sociétés locales et les bras morts apparaissent de plus en plus lâches.

Que faire dans l'estuaire de la Seine ?

L'estuaire de la Seine est perçu comme le plus anthropisé d'Europe. Il est marqué par l'agriculture, une industrie portuaire lourde et un important secteur chimique. Mais, de manière paradoxale, l'estuaire de la Seine possède un patrimoine culturel important par son histoire, sa littérature, sa peinture et son patrimoine bâti en général.

Le futur de l'estuaire de la Seine se discute dans un jeu d'acteurs entre les scientifiques, les gestionnaires, les élus et les mouvements associatifs. On y parle des thèmes à la mode : biodiversité, services rendus par les écosystèmes, etc. Mais qu'en est-il des attentes des

usagers et des habitants, cette majorité silencieuse qui vit la réalité estuarienne et participe à sa construction ? De toute évidence, ils n'affichent pas exactement les mêmes priorités (Sirost *et al.*, 2012a). Ainsi, ils parlent :

- d'un estuaire récréatif qui serait un vaste terrain de jeux, propice aux activités sportives, au tourisme, aux loisirs ;
- d'un estuaire nourricier où l'activité agricole ainsi que les traditions de cueillette, de pêche, de chasse restent encore vivaces ;
- d'un estuaire paysager qui s'inscrit dans une histoire (l'impressionnisme, par exemple) de sites classés, mais aussi dans un vécu de mise au vert (espace rural résidentiel) ;
- d'un estuaire patrimonialisé avec des lieux de mémoire (châteaux, abbayes, clochers), des bâtis traditionnels, des vestiges d'une histoire de la navigation.

Dans une perspective de reconquête de l'estuaire, une enquête réalisée lors de l'Armada montre qu'un consensus pourrait se dégager autour de l'idée d'un espace jardiné au bord de l'eau et offrant des prises multiples (sport, promenade, détente, patrimoine, observation naturaliste). Dans le détail, néanmoins, deux types de populations semblent se distinguer : des classes populaires adeptes d'une nature aménagée et contrôlée, présentée comme un terrain de jeu, et des « bourgeois » qui préfèrent une nature spontanée, avec un parfum de « sauvage ». De manière générale, les classes populaires vivent enclavées dans des morceaux d'estuaire (bases de loisirs, jardins, gabions de chasse, etc.) avec des pratiques vernaculaires (chasse, pêche à pied, détente au bord de l'eau), ce qui les amène à construire une nature anthropisée. À l'inverse, les classes dites supérieures ont des pratiques plus nomades (cyclotourisme, randonnées, découvertes nature). Les classes populaires développent une perception locale qui est souvent en opposition avec les visions globales des gestionnaires (développement durable, grands projets de territoire, protection de la biodiversité, etc.).

On peut trouver surprenantes ces conclusions issues d'un travail d'enquête sur le terrain dans des communes de l'estuaire de la Seine (Sequana), qui mettent en évidence une méfiance des riverains vis-à-vis des discours technocratiques et experts sur la nature et le paysage. La requalification paysagère génère de nouveaux clivages entre les couches sociales : « Un programme "renaturation" présenté comme tel ne manquera pas de soulever la méfiance d'une partie au moins des riverains : les milieux plutôt populaires, ancrés dans le territoire par leurs racines rurales, ou au contraire résolument urbains. Parce que c'est un terme "barbare" que l'on soupçonne issu de la communauté des scientifiques naturalistes (scientocrates), milieu dont on se défie... Pire, le terme "renaturation" lui-même connote un retour vers le "sauvage", le "sale", le "désordre", autant de notions contre lesquelles les sociétés locales ont lutté depuis le Néolithique... Par contre, un programme présenté comme visant une meilleure maîtrise de la nature, une amélioration du cadre de vie, un aménagement des rives [...] prenant en compte un meilleur accès pour les riverains et des aménagements paysagers favorisant leur fréquentation à des endroits choisis, serait entendu de manière favorable. » (Sirost *et al.*, 2012b)

Le paysage idyllique qui ressort de diverses enquêtes serait celui d'une Seine verte où prime l'élément eau, et autour de laquelle se structure un espace de ponts, chemins, passages d'eau dont le mouvement et la vivacité sont matérialisés par les bateaux qui circulent et qui retiennent tout l'intérêt des personnes qui côtoient le fleuve. Dans l'ordre d'appréciation des éléments du paysage de Seine, c'est d'abord le naturel, la vue sur l'eau, la tranquillité et l'isolement, avant les loisirs et l'animation, qui sont évoqués. C'est donc une Seine « en nature » qui prime. Les éléments sociaux déclarés comme importants sont ceux relatifs à un enracinement culturel inscrit dans le paysage, avant les éléments sociaux relatifs à l'activité économique du fleuve. Curieusement, ce sont les éléments sociaux relatifs aux loisirs qui sont les moins fréquemment cités.

Néanmoins, l'estuaire de la Seine est également un espace productif, avec son histoire. Au-delà de ce qui fait la nature véritable (les coteaux, les falaises, les milieux humides), il y a ce qui relève du domaine économique et de l'aménagement. Les acteurs de l'aménagement des bords de Seine s'investissent dans la requalification d'anciens sites industriels et en font par ce biais des éléments « légitimes » du patrimoine local et du paysage. La légitimité industrielle est acquise sur le territoire, car c'est une source de richesse et d'emplois. Cependant, une distinction claire est faite entre paysage de nature et paysage industriel. C'est le paysage de nature qui est privilégié parce que, justement, ce type de paysage marque une rupture avec le travail et avec l'environnement contraint qui est celui des usagers/salariés au quotidien (Sirost *et al.*, 2012b).

Ces enquêtes nous révèlent un point fondamental : les critères à la mode tels que les services écosystémiques ou la biodiversité, mis en avant par les écologues, les mouvements militants et le législateur, ne sont pas la priorité pour les citoyens : pourquoi ce décalage ? Et quelles leçons en tirer sur le plan de la restauration ?

La naturalité des paysages : réalité ou artéfact ?

L'eau influence très positivement les perceptions et confère ainsi au paysage une grande valeur. Elle paraît susciter un sentiment d'apaisement, et les surfaces en eau exercent un fort pouvoir de fascination que l'on a pu qualifier « d'attraction hypnotique ». « En dépit des aménagements, le paysage au bord de l'eau est avant tout considéré comme une rencontre avec la nature, potentiellement porteuse d'évasion et de rêverie. C'est cet habitat potentiel et intérieur qui motive la perception paysagère. » (Sirost *et al.*, 2012b)

Comme élément des paysages, le cours d'eau présente une très grande variété d'aspects. On peut évoquer par exemple (Brossard *et al.*, 1998) :

« L'eau bondissante des ruisseaux filant entre les blocs de pierre moussus, l'eau étale et dominatrice des pointes de crues, quand les arbres et les

maisons paraissent à sa surface comme autant d'îles insolites,
l'eau brutale, dont la masse rejaillit en fins nuages de gouttelettes, au pied des cascades,
l'eau destructrice, chargée de boues et de débris, qui ravage tout dans ses débordements,
l'eau miroir, qui contient l'image du paysage environnant dont elle est elle-même prisonnière,
l'eau rare des étés secs, quand quelques filets et quelques flaques restent les seuls témoins directs de l'existence des cours d'eau,
l'eau souterraine, invisible et donc inquiétante. »

La naturalité d'un paysage, telle qu'elle peut être perçue, est un facteur très structurant des préférences paysagères. Par « naturalité », on entend une construction cognitive qui se rapporte à ce que les individus considèrent comme étant « naturel », c'est-à-dire non modifié par l'homme. Mais, autre paradoxe, si les individus expriment dans les enquêtes une préférence pour les rivières jugées « naturelles », certaines caractéristiques paysagères résultant d'une action de l'homme sont également appréciées... Certains ont d'ailleurs introduit le concept de « paysage humanisé » pour désigner ces systèmes complexes où interagissent des mécanismes naturels et anthropiques. Ceux-ci fonctionnent selon une double logique :

- une logique « naturelle » qui explique la présence d'une faune et d'une flore particulières liées à l'histoire géologique, géomorphologique et biologique ;
- une logique « humaine » qui a organisé l'espace au fil du temps en fonction des besoins de l'homme et des pratiques culturelles, par exemple (Blandin, 1996).

Une approche purement écologique ne suffit donc pas pour comprendre l'organisation et le fonctionnement du paysage où processus spontanés et anthropiques sont étroitement corrélés. On retrouve ici le concept d'anthroposystème (cf. chapitre 4).

Une naturalité « culturelle » ?

La naturalité n'est pas forcément compatible avec l'état de nature tel qu'il est appréhendé par les écologues. Pour ces derniers, la naturalité désigne un état de nature qui n'a pas été significativement modifié par l'homme. Ce sont des espaces au

sein desquels les processus naturels opèrent librement sans interférence humaine. Mais il apparaît que ce que les gens appellent « nature » est éminemment culturel et ne coïncide pas avec les définitions objectives données par les écologues. Ainsi, si les paysages perçus comme naturels sont jugés plus esthétiques, c'est que les structures paysagères qui les caractérisent correspondent à un idéal culturel. Ces préférences esthétiques ne semblent donc, en aucun cas, être liées au bon état écologique. En ce sens, la naturalité, telle qu'elle est perçue par tout un chacun, est susceptible d'entrer en contradiction avec la naturalité, telle qu'elle est appréhendée par les écologues chargés de définir le bon état écologique (Cottet-Tronchère, 2010).

Les enquêtes réalisées sur le Rhône pour évaluer la perception qu'avait le public de la restauration d'un cours d'eau ont mis en évidence que les paysages de rivières qui exercent la plus grande attraction sont ceux qui apparaissent comme « entretenus » aux yeux du public. Car l'entretien des berges favorise un accès physique et visuel à l'eau, un élément fondamental des perceptions paysagères. Pour beaucoup de personnes interrogées, il est « important de pouvoir marcher au bord de l'eau ». Cette attirance pour les paysages entretenus peut s'expliquer par des besoins de loisirs, mais aussi de sécurité. Ces observations montrent l'ambiguïté du concept de naturalité : si les individus affichent des préférences pour les environnements naturels, ce sont en réalité les paysages entretenus qu'ils plébiscitent. Ce que les gens désirent, ce sont « des corridors fluviaux calmes, riches en flore et en faune, et formant des paysages attractifs, mais ces derniers doivent disposer d'aménagements basiques tels que des toilettes ou des chemins » (Green et Tunstall, 1992).

Un des dogmes de la restauration est le rétablissement durable des conditions de fonctionnement de l'écosystème : ce dernier doit être capable de s'auto-entretenir. Mais dans quelle mesure est-ce crédible ? Ainsi, la dynamique naturelle peut conduire à l'atterrissement d'annexes fluviales, que l'on considère par ailleurs comme importantes à préserver. La dynamique naturelle de l'estuaire de la Seine aboutirait, selon toute probabilité, à son envasement et à son colmatage en l'absence de dragage.

Quelle doit donc être la part du « naturel » par rapport au « culturel » en matière de restauration ? Il ne suffit donc pas de traiter les

symptômes d'une dégradation, pour que les choses aillent dans le sens souhaité. Il faut souvent intervenir pour orienter l'évolution du système, ou pour maintenir certaines espèces ou certaines fonctions que l'on souhaite préserver, et dont la présence s'inscrivait dans un contexte d'usages. Avec l'arrêt de pratiques culturelles traditionnelles ou locales, beaucoup d'écosystèmes anthropisés perdent leur intégrité et leur diversité biologique... Un exemple emblématique pourrait être la Camargue, produit de l'activité des Salins du Midi et de l'agriculture. Avec l'arrêt de l'activité des Salins du Midi, comment cette zone humide emblématique va-t-elle évoluer ?

Ce qui pose de nouveau la question des objectifs et du système de référence (*cf.* chapitre 8). En Europe, où beaucoup d'éléments biotiques du paysage sont anthropisés, les programmes de conservation doivent assurer la continuité des interrelations complexes qui se sont établies depuis des millénaires entre l'homme et la nature (Girel, 2006).

Le succès mitigé des opérations de restauration

Les opérations de restauration donnent-elles des résultats à la hauteur des espérances ? En d'autres termes, l'argent investi est-il justifié ? De fait, différentes études récentes questionnent l'efficacité des mesures de restauration des cours d'eau. Ainsi, une étude menée par des chercheurs allemands (Haase *et al.*, 2013) nous interpelle. Pour 24 projets de restauration hydromorphologique, ils ont comparé les paramètres hydromorphologiques et la diversité biologique des invertébrés, des macrophytes et des poissons dans les sections restaurées et les sections non restaurées. Pour les poissons, la restauration a eu des effets positifs dans 11 cas sur 24. Mais si l'on considère les différents groupes d'organismes, seulement un site présente des signes positifs de restauration et peut être considéré comme de bonne qualité écologique selon les critères de la DCE. Les auteurs concluent logiquement que d'autres facteurs que l'hydromorphologie interviennent... et recommandent

une démarche intégrée au niveau du bassin versant prenant en compte les pollutions, les capacités de dispersion des espèces, etc., mais aussi d'inclure des perspectives sociétales dans l'évaluation des projets de restauration.

Une autre étude (Lorenz *et al.*, 2013) portant sur 36 projets de restauration de peuplements ichtyologiques dans des petits cours d'eau donne des résultats plus positifs. Les opérations de restauration ont considérablement modifié la morphologie du lit et amélioré la diversité des habitats. En moyenne, les sites restaurés sont plus larges, moins profonds, avec une plus grande diversité de situations hydrauliques. Plus particulièrement, l'abondance des jeunes de l'année est nettement plus grande dans les secteurs restaurés que dans les secteurs non restaurés. Ces résultats tendent à soutenir l'hypothèse qu'en recréant une plus grande diversité d'habitats on améliore l'état des peuplements de poissons.

Dahm *et al.* (2013) ont, quant à eux, croisé les mesures de qualité biologique recueillies dans le cadre de la DCE en Allemagne et en Autriche, avec les données disponibles sur quatre causes connues d'impact : l'hydromorphologie, la qualité physico-chimique, l'occupation des sols en rive, l'usage des sols sur le bassin versant. Selon leur analyse, tous les indices biologiques sont plus fortement impactés par la qualité physico-chimique de l'eau.

Dans le bassin de Loire, Van Looy *et al.* (2014) ont sélectionné un réseau de 17 000 km de linéaire, divisé en 4 930 segments homogènes du point de vue géomorphologique et comportant 5 500 obstacles à l'écoulement. Ils ont utilisé le ROE (Référentiel des obstacles à l'écoulement) de l'Onema afin de construire un modèle d'impact des seuils et barrages. Du côté des indicateurs biologiques, ils ont utilisé deux métriques multifactorielles : l'indice « poissons-rivières » (IPR), qui mesure la qualité piscicole, et l'indice « invertébrés-multimétrique » (I2M2), qui mesure la réponse des invertébrés aux pressions. Les résultats de leur étude montrent l'existence de relations complexes entre la densité des barrages et les réponses des organismes vivants. Pour les poissons comme

pour les invertébrés, il n'y a pas de relation significative à l'échelle locale entre la densité des barrages et les indices globaux d'intégrité utilisés dans le cadre de la DCE (IPR, I2M2). Une corrélation n'apparaît qu'à l'échelle du bassin versant. Par contre, une corrélation existe pour des traits biologiques spécifiques tels que la rhéophilie, caractère qui correspond chez les poissons au groupe des espèces d'eau vive. Pour les communautés d'invertébrés, les perturbations sont plus marquées dans les zones amont et pour les espèces eurytopes, multivoltines et ovovivipares. Plus généralement, l'impact des barrages est plus marqué à l'échelle régionale qu'à l'échelle locale, et au niveau des traits biologiques qu'au niveau de la richesse taxonomique. Dans le cours supérieur, la qualité de l'habitat est importante et des suppressions de barrages peuvent avoir des effets significatifs sur la composition des peuplements. Pour le cours inférieur, la situation est plus compliquée car les facteurs d'impacts sont multiples, et il est indispensable d'avoir une démarche plus systémique. En particulier, les efforts de restauration n'aboutiront pas si l'on n'évalue pas les capacités de recolonisation des sites concernés par des espèces dont la présence est conditionnée par un flux continu d'individus. D'où le rôle crucial de la connectivité.

De toute évidence, le succès des opérations de restauration est confronté à la multiplicité des causes de perturbation, qui sont variables selon le contexte local et qui ne sont pas toujours faciles à identifier. Les facteurs temps et les questions d'échelle sont souvent mal pris en compte. Une méta-analyse (Moreno-Mateos *et al.*, 2012), portant sur 621 projets de restauration ou création de zones humides dans le monde, montre que dans de nombreux cas la récupération est lente voire incomplète. Il n'est pas évident que des opérations sectorielles et de petite emprise, comme c'est souvent le cas (Morandi, 2014), soient le meilleur moyen de parvenir à des résultats significatifs. Le problème récurrent tient au fait que nous ayons peu de longues séries de données après restauration, à des échelles régionales, pour tirer réellement des conclusions opérationnelles. Il n'en reste pas moins que la complexité des phénomènes et la grande variabilité des situations observées

doivent nous inciter à plus de prudence et d'humilité dans ces opérations, par ailleurs fort coûteuses.

Une absence inquiétante d'évaluation des retombées

Les opérations de restauration sont souvent décidées sans études préalables suffisantes qui permettraient de valider le projet, mais aussi d'en apprécier les résultats. En réalité, il n'y a généralement pas d'analyse coût/bénéfice, ni préalable ni *a posteriori*, pour évaluer l'intérêt et les retombées éventuelles du projet. Il est vrai que, le plus souvent, les opérations de restauration ne se fixent pas d'objectifs quantifiés. Cette lacune est également soulignée aux États-Unis (Palmer *et al.*, 2005).

Sur le plan écologique, on est confronté à la même situation. Les projets ne mettent pas en place de suivi à long terme qui permettrait d'évaluer la réalisation ou non des objectifs. Dans une revue de plusieurs centaines de projets, Morandi et Piégay (2011) ont mis en évidence :

- de nombreuses lacunes concernant les informations disponibles sur Internet, relatives au suivi et à l'évaluation des actions réalisées ;
- le manque de capitalisation et d'échanges d'informations sur la réussite ou non des opérations. Or ces informations pourraient être précieuses pour échanger les expériences, ne pas répéter les échecs, justifier l'utilisation des financements accordés ;
- on s'intéresse finalement peu aux résultats. Il y a en effet peu de suivis qui pourraient permettre de savoir si les actions réalisées ont eu des répercussions positives sur le milieu. La question que l'on devrait logiquement se poser « quels sont les gains écologiques et socio-économiques ? » reste sans réponse dans la plupart des cas. C'est ubuesque !

Ne restons pas sur une vision négative. Saluons les efforts et les progrès réalisés en matière de débits réservés. L'hydro-électricité est une source importante d'énergie renouvelable en France. Mais les installations (barrages, seuils, dérivations, turbines) ont des impacts conséquents sur l'état des cours d'eau et des milieux aquatiques. L'un d'entre eux est de modifier considérablement le régime hydrologique à l'aval, ainsi que la variabilité saisonnière. L'article L. 214-18 du code de l'environnement impose à tout ouvrage transversal dans le lit mineur d'un cours (seuils et barrages) de maintenir à l'aval du cours d'eau un débit minimal garantissant en permanence la vie, la circulation et la reproduction des espèces présentes. Pendant longtemps, il y a eu obligation de maintenir un débit correspondant au 1/40^e du module^[20]. Avec la loi applicable au 1^{er} janvier 2014, le débit ne doit pas être inférieur au 1/10^e du

module du cours d'eau. Il ne doit pas être inférieur au 1/20^e du module sur les cours d'eau dont le module est supérieur à 80 m³/s, ainsi qu'à l'aval d'ouvrages assurant la production d'électricité aux heures de pointe. C'est ce débit qui est communément appelé « débit réservé » ou « débit minimal ». Ponctuellement, en cas d'étiage exceptionnel, le préfet peut fixer le débit réservé en dessous du minimum légal.

Si les opérations de restauration écologique se concrétisent le plus souvent par des actions locales portant sur la morphologie et le paysage, il ne faut pas perdre de vue que la qualité de l'eau reste un facteur essentiel, qui ne peut se traiter qu'à l'échelle globale. Cette amélioration de la qualité de l'eau est aussi un problème plus complexe qui manque de visibilité pour le public, mais dont le coût pour la société est très élevé. Néanmoins, c'est la clé d'une amélioration de l'état de nos cours d'eau !

Pour en savoir plus

Agence de l'eau Seine-Normandie, 2007. Manuel de restauration hydromorphologique des cours d'eau. www.eau-seine-normandie.fr/fileadmin/mediatheque/Collectivite/HYDROMORPHO/02Guide_terrain.pdf (consulté le 23/11/2015).

Astee, 2013. Ingénierie écologique appliquée aux milieux aquatiques. Pourquoi ? Comment ? (sur le web).

Barnaud G. 2007. Les grands principes d'un projet de restauration. *In* Restauration environnementale et reconquête de l'estuaire de la Seine. Les rencontres de Seine-Aval (sur le web).

Barraud R., 2011. Rivières du futur, wild rivers ? *Vertigo*, hors-série 10.

Blandin P., 1996. Naturel, culturel, le paysage rural en devenir. C.R. Acad. Agric. Fr, 82 (4) :45-55.

Boon P.J., Calow P., Petts G.E. (eds), 1992. *River Conservation and Management*. Chichester, John Wiley et Sons.

Bouisset C. et Degrémont I., 2013. Patrimonialiser la nature : le regard des sciences humaines. *Vertigo*, hors-série 16.

Bravard J.-P., 2006. La lône, l'aménageur, l'écologue et le géographe, quarante ans de gestion du Rhône. *Bulletin de l'association des géographes français*, vol. 3 : 368-380.

Brossard T., Wieber J.-C., Joly D., 1998. Analyse visuelle systématique des paysages de cours d'eau par deux approches complémentaires. *Geocarrefour*, 73 (4): 299-308.

Cairns J. Jr, 1991. The status of the theoretical and applied science of restoration ecology. *Environmental Professional*, 13 (3) : 186-194.

Clewell A.F et Aronson J., 2010. *La restauration écologique*. Actes Sud.

Comité de bassin Rhône-Méditerranée-Corse. 2011. Restauration hydromorphologique et territoires. Concevoir pour négocier. Guide technique Sdage.

Cottet-Tronchère M., 2010. La perception des bras morts fluviaux. Thèse de l'université Jean-Moulin-Lyon 3.

Dahm V. *et al.*, 2013. Effects of physico-chemistry, land use and hydromorphology on three riverine organism groups: a comparative analysis with monitoring data from Germany and Austria. *Hydrobiologia*, 704 (1): 389-415.

Germaine M.A. et Barraud R., 2013. Restauration écologique et processus de patrimonialisation des rivières dans l'ouest de la France. *Vertigo*, hors-série 16.

Green C.H., Tunstall S.M., 1992. The amenity and environmental value of river corridors in Britain. *In* Boon P.J., Calow P., Petts G.

(dir.), *River conservation and management*, , p. 425-441. Wiley, New York.

Haase P., Hering D., Jähnig S.C., Lorenz A.W. , Sundermann A., 2013. The impact of hydromorphological restoration on river ecological status: a comparison of fish, benthic invertebrates, and macrophytes. *Hydrobiologia*, vol.704/1, p. 475-488.

Insee, 1986. *Les comptes du patrimoine naturel*. Paris, Les collections de l'Insee, n° 137-138, 552 p.

Larsen P., 1996. Restoration of River Corridors. German experiences. In G. Petts et P. Calow (eds), *River Restoration*. Oxford, Blackwell.

Lefeuvre J.-C. (coord.), 2010. Carrières, biodiversité et fonctionnement des hydrosystèmes. Buchet-Chastel.

Lévêque C., 1995. L'habitat : être au bon endroit au bon moment ? *Bull. français de pêche et de pisciculture*, n °337-338-339, p. 9-20.

Lévêque C. et Van der Leeuw S. (eds), 2003. Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-écologique du champ de l'environnement. Elsevier, 324 p.

Lorenz AW *et al.*, 2013. Do adult and YOY fish benefit from river restoration measures ? *Ecological Engineering*, 61, A, p. 174-181.

Malavoi J.-R., 1998. Détermination de l'espace de liberté des cours d'eau. Guide technique n° 2, Bassin Rhône-Méditerranée-Corse.

Malavoi J.-R. et Bravard J.-P., 2010. *Éléments d'hydromorphologie fluviale*. Onema, coll. Comprendre pour agir. 224 p.

Malavoi J.-R., 2011. Identifier les rivières sauvages de France, quelques propositions méthodologiques, Actes du colloque fondateur « Créer un réseau de rivières sauvages en France »,

Annecy, 20 mai 2011. http://issuu.com/rivieres-sauvages/docs/02_onema.colloque-1 ↗

Medde (ministère de l'Écologie, du Développement durable et de l'Énergie), 2012a. Doctrine relative à la séquence éviter, réduire et compenser les impacts sur le milieu naturel.

Mitsch W.J. et Jorgensen S.E., 2004. *Ecological Engineering and Ecosystem restoration*. Wiley et Sons, New York.

Morandi B. et Piégay H., 2011. Les restaurations de rivière sur Internet : premier bilan. *Natures, sciences, sociétés*, 19 (3) : 224-235.

Morandi B., 2014. La restauration des cours d'eau en France et à l'étranger : de la définition du concept à l'évaluation de l'action. Éléments de recherche applicables. Thèse de doctorat en géographie, ENS, université de Lyon.

Moreno-Mateos D., Power M.E., Comín F.A., Yockteng R., 2012. Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS Biol.*, 10: 1-9.

Onema, 2010. La Restauration des cours d'eau : recueil d'expériences sur l'hydromorphologie (sur le web).

Osborne L.L., Bayley P.B., Higler L.W.G., Statzner B., Triska F., Iversen T., 1993. Restoration of lowland streams: an introduction ». *Freshwater Biology*, 29 (2): 187-194.

Palmer M.A., Bernhardt E.S., Allan J.D., Lake P.S., Alexander G., Brooks S., Carr J., Clayton S., Dahm C., Follstad Shah J., Galat D.J., Gloss S., Goodwin P., Hart D.H., Hassett B., Jenkinson R., Kondolf G.M., Lave R., Meyer J.L., O'Donnell T.K., Pagano L., Srivastava P., Sudduth E., 2005. Standards for ecologically successful river restoration. *Journal of Applied Ecology*, 42: 208-217.

Perrein C., 1993. Histoire de l'entomologie et biohistoire. *La lettre de l'Atlas entomologique régional*, p. 15-16. Nantes.

Rochard E., Béguer M., Gazeau C., Marchal J., Ombredane D., Baglinière J.-L., Pellegrini P., 2006. Identification écoanthropologique d'espèces migratrices, emblématiques de la reconquête d'un milieu fortement anthropisé : la Seine. Cemagref, Rennes Agrocampus et Muséum national d'histoire naturelle. Rapport pour le Programme Seine-Aval. Étude Cemagref n° 104, 86 p.

Sirost O. (coord.), Melin H., Gilles S., Lecoœur M., Bouillon D., 2012a. Les enfants du fleuve. Paysages vécus et paysages perçus dans l'estuaire de la Seine. Projet Seine-Aval 4, 223 p.

Sirost O., Féménias D., 2012b. Les usages récréatifs de l'estuaire de la Seine. Projet Seine-Aval 4, 131 p.

Van Looy K., Tormos T. et Souchon Y., 2014. Disentangling dam impacts in river networks. *Ecological Indicators*, 37, p. 10-20.

¹⁹http://www.cnrs.fr/inee/recherche/fichiers/Manifeste_ingenierie_ecologique.pdf 

²⁰Le module est le débit moyen interannuel.

Des changements en perspective ? Tendances, trajectoires, prospective...

« La dimension à long terme est centrale dans les problèmes environnementaux que la société tente de prendre en charge, problèmes qui combinent des dynamiques et des enjeux s'étendant sur des décennies, sur des siècles, voire des millénaires à venir... il n'est pas abusif d'écrire que gérer l'environnement, c'est intervenir pour infléchir les dynamiques futures des systèmes socio-écologiques. »

Laurent Mermet (2005)

Les écologues sont friands d'observations à long terme car la reconstitution des trajectoires temporelles et spatiales permet de mieux appréhender les déterminants du fonctionnement et de la dynamique actuelle des systèmes écologiques. Mais les suivis écologiques à long terme posent un certain nombre de problèmes.

- Des problèmes de financement récurrents, dans la mesure où les instituts de recherche ne souhaitent pas s'engager sur des financements à long terme et que la récolte de données de terrain coûte cher ! Pourtant, dans d'autres domaines scientifiques (astronomie, géophysique, climat, etc.), de tels dispositifs existent et sont financés... pourquoi une telle disparité ?
- Des problèmes méthodologiques liés à l'échantillonnage (méthodes, fréquences, spatialisation, etc.) et à la représentativité des observations réalisées. Tous les ichtyologues savent, par exemple, que la manière de pêcher n'est pas facilement codifiable, et que les engins de pêche sont très sélectifs par rapport aux peuplements en place.

- Des problèmes d'exploitation des données car l'interprétation des changements observés nécessite de pouvoir les confronter aux changements de l'environnement, ce qui suppose de posséder les informations *ad hoc* concernant l'ensemble de l'hydrosystème. En outre, cela nécessite des analyses multicritères, pour essayer de démêler les influences réciproques des principaux paramètres... ce qui est souvent très difficile ! Sans compter que la mise en évidence de corrélations ne signifie pas nécessairement qu'il y a relation de cause à effet...
- Des problèmes théoriques : qu'attend-t-on de ces suivis ? Surtout ne pas imaginer qu'après quelques décennies, si les conditions de l'environnement s'améliorent, on va retrouver une situation historique. On ne travaille pas sur des systèmes à l'équilibre mais sur des systèmes qui évoluent. L'expérience montre qu'il n'y a pas de retour en arrière dans ce domaine. On peut néanmoins espérer avoir les éléments permettant d'anticiper, à moyen terme, la trajectoire du système écologique actuel, et tenter de l'infléchir si on le juge nécessaire.

En réalité, faire du suivi à long terme est tout sauf trivial. On comprend pourquoi, dans ces conditions, nous possédons peu de longues séries de données d'observations sur les systèmes d'eau courante. Par chance, si l'on peut dire, certains suivis à long terme ont été réalisés dans le cadre de mesures réglementaires concernant l'impact des aménagements sur les systèmes fluviaux. Ainsi, le suivi de l'impact des centrales nucléaires établies près des fleuves a constitué pour les hydrobiologistes français une source importante de données, qui ont été exploitées également dans le cadre des recherches sur les conséquences du changement climatique.

Tendances en matière de précipitations et de débits

Les débits des cours d'eau, leur régime saisonnier, sont fortement conditionnés par les régimes climatiques et les précipitations. Depuis

quelques années, la perspective des changements climatiques a suscité beaucoup d'intérêt et de discours, souvent spéculatifs car nous ne disposons que d'un nombre limité d'informations au regard de la complexité des processus impliqués. Il est donc bien prétentieux de vouloir faire des prévisions dans ce domaine, compte tenu des nombreuses incertitudes. Néanmoins, on ne peut s'en désintéresser car la société demande d'anticiper les conséquences des changements annoncés.

Une augmentation de 1 °C de la température moyenne de l'air peut entraîner un accroissement d'environ 6 à 7 % du réservoir de vapeur atmosphérique[21]. On doit donc s'attendre, à l'échelle du globe, à une augmentation des précipitations. Dans les régions de basse latitude, les modèles de circulation générale (MCG) simulent une augmentation des pluies en zone équatoriale, et une tendance à la diminution des pluies dans les régions subtropicales, là où se situent les steppes et les déserts. Dans certaines régions de moyenne latitude, telles que la zone méditerranéenne, les précipitations diminueraient aussi, alors que vers les plus hautes latitudes (en Amérique du Nord et en Europe), les pluies augmenteraient. Mais ces prévisions restent encore à confirmer.

Sur les continents, où l'on dispose d'enregistrements depuis 1950, on n'a pas détecté de tendance très nette à l'accroissement des précipitations globales sur le long terme. Néanmoins, en France, selon Moisselin *et al.* (2012), les séries homogénéisées de précipitations montrent une pluviométrie plutôt en hausse au cours du xx^e siècle, avec un changement de la répartition saisonnière : moins de précipitations en été et davantage en hiver. Des contrastes Nord/Sud apparaissent, avec des cumuls annuels de précipitations en baisse sur le sud de la France. Des observations confirmées par Renard (2006), pour qui les cumuls annuels sont globalement en augmentation, surtout dans la partie nord du pays. L'augmentation la plus marquée se situe au printemps, alors qu'en été il y a réduction des cumuls sur la quasi-totalité du pays.

On notera cependant que les prévisions réalisées dans le cadre du programme Explore parlent quant à elles d'une diminution de la pluviométrie en de nombreux points de métropole dans les prochaines décennies... Soyons prudents !

La difficulté de détecter les tendances à long terme des pluies régionales a conduit les scientifiques à analyser les enregistrements des débits des fleuves sur de grands bassins versants. Les travaux qui ont cherché à mettre en évidence des tendances éventuelles dans les mesures de débits au xx^e siècle se sont heurtés à la difficulté récurrente de faire la part entre les évolutions résultant des facteurs climatiques (températures, précipitations) et celles provenant des modifications anthropiques sur les bassins versants.

Plusieurs études sur les fleuves des hautes latitudes, qui s'écoulent vers la mer Baltique ou vers l'océan Arctique, ont conclu à une augmentation des débits, ce qui est en accord avec l'augmentation des pluies simulée par les modèles MCG dans les hautes latitudes (rapport du groupe Eau de l'AAF, 2014).

Stahl *et al.* (2010) ont analysé à l'échelle européenne un ensemble de données concernant 441 petits bassins versants peu impactés par les aménagements et couvrant au moins la période 1962-2004. Ils ont mis en évidence un schéma assez cohérent avec une tendance à la diminution des écoulements annuels dans le sud et l'est de l'Europe, et une tendance à l'augmentation ailleurs. Si l'on examine les écoulements mensuels, il y a une tendance à l'augmentation des débits hivernaux dans la plupart des bassins, et à des étiages printaniers et estivaux plus sévères.

À l'échelle de la France, Giuntoli *et al.* (2012) ont également mis en évidence une tendance à l'aggravation des étiages dans la partie sud du pays, et à une plus grande précocité de la période d'étiage. Mais les résultats obtenus par Renard (2006), qui a mené une étude statistique sur l'évolution des événements hydrologiques extrêmes en France au cours des cinquante dernières années, sont mitigés. Il n'a pas observé de changement significatif et généralisé dans le

comportement des extrêmes hydrologiques, que ce soit en crue ou en étiage. La plupart des bassins ayant été modifiés au cours des siècles derniers (occupation des sols, utilisation de l'eau pour l'industrie ou l'irrigation), on ne peut exclure le rôle de ces facteurs dans une éventuelle évolution des débits. On observe cependant quelques tendances cohérentes au niveau régional : légère aggravation des crues dans le nord-est de la France ; des étiages un peu plus sévères dans les Pyrénées alors qu'ils le sont moins dans les Alpes (Gresillon *et al.*, 2007).

En matière de prospective, quelques travaux ont essayé d'évaluer les changements possibles. Selon Boe (2007), à la fin du ^{xxi}^e siècle, les précipitations diminueraient sur les régions du sud de l'Europe (diminution inférieure à - 25 % en été) et augmenteraient au nord de l'Europe (augmentation supérieure à + 25 % en hiver). La France est située dans la zone de transition, avec de fortes incertitudes sur le signe des changements prévus... Sur le bassin versant du Rhône, en cas de fort recul ou de disparition des glaciers et de la composante nivale dans les écoulements, il y aurait une forte diminution des débits estivaux car la fonte estivale des glaciers alimente les débits dans les périodes particulièrement sèches.

Des travaux réalisés dans le cadre du plan Bleu (Milano, 2010 ; Nicholls *et al.*, 2011) ont cherché à évaluer l'impact des changements climatiques sur les débits de quatre grands fleuves méditerranéens, aux horizons 2050 et 2100. Les écoulements du Rhône pourraient baisser de 15 à 30 % en moyenne, et de 30 à 40 % en été, les étiages s'étalant plus longtemps (un mois environ). Les débits ne devraient pas être affectés en hiver.

Le projet Explore 2070 (Chauveau *et al.*, 2013) a également cherché à évaluer les impacts possibles des changements climatiques sur les eaux de surface à l'horizon 2046-2065 par rapport à un état de référence 1961-1990 en France métropolitaine et sur les départements d'outre-mer. Cette étude a comparé plusieurs modèles climatiques et hydrologiques. En métropole, on note :

- une augmentation possible des températures moyennes annuelles de l'air de l'ordre de + 1,4 °C à + 3°C ;
- une évolution incertaine des précipitations, la plupart des modèles s'accordant cependant sur une tendance à la baisse des précipitations en été sur l'ensemble de la métropole ;
- une diminution significative globale des débits moyens annuels à l'échelle du territoire, de l'ordre de 10 % à 40 %, particulièrement prononcée sur les bassins Seine-Normandie et Adour-Garonne ;
- pour une grande majorité des cours d'eau, une baisse prononcée des débits d'étiage ;
- des évolutions plus hétérogènes et globalement moins importantes sur les crues.

La perspective d'étiages plus sévères pose la question assez peu abordée des soutiens d'étiage. En effet, la sécheresse de 2003 a montré que les conséquences d'étiages sévères pouvaient être importantes pour la faune, avec des effets à long terme sur les peuplements. Si l'étiage conduit à un assèchement partiel, l'effet est encore plus marqué ! Les barrages-réservoirs du bassin de la Seine, qui sont censés servir à écrêter les crues de la Seine en cas de forte crue, sont largement utilisés pour les activités nautiques. Mais ils servent aussi à soutenir le débit de la Seine et à maintenir un niveau suffisant pour la navigation.

Dans ce contexte, on peut se demander s'il ne serait pas pertinent d'envisager de constituer des réserves afin de soutenir, en cas de besoin, le débit de certains cours d'eau. En anticipant un peu, ce qui devrait être le rôle des gestionnaires, n'y a-t-il pas un rôle possible pour les retenues tant décriées actuellement ? Ce point mériterait pour le moins un peu d'attention alors que l'on ne parle que d'arasement des seuils. Ce rôle de stockage pourrait être bien utile pour maintenir le débit des cours d'eau en étiage, mais aussi pour l'agriculture. L'étude de l'agence de l'eau Adour-Garonne, « Garonne 2050 », fait explicitement l'hypothèse, dans l'un de ses quatre scénarios, que les retenues pyrénéennes prévues pour les besoins hydro-électriques devraient être en quasi-totalité affectées au

soutien d'étéage, et pour les besoins agricoles et d'alimentation en eau potable.

L'augmentation de la sévérité et de la longueur des étiages pose la question de la forte saisonnalité de la demande en eau sur certains territoires, puisque la demande estivale pourrait encore s'accroître (pour l'irrigation et le refroidissement des centrales, par exemple). Si les précipitations diminuent ou sont décalées dans la saison, on peut penser que les cultures irriguées vont se développer... Au niveau national, on estime déjà que l'irrigation représente 50 % de l'eau consommée (Amigues *et al.*, 2006). À titre d'exemple, la hausse des températures et la baisse des précipitations pourraient induire une hausse de la demande en eau d'irrigation de 10 % dans les Pyrénées-Orientales à l'horizon 2030 (Maton, 2010). Mais il s'agit là d'un scénario dit tendanciel, car il est possible également que le type de culture change au profit de plantes plus économes en eau, ou que l'agriculture périclité parce que le coût de l'irrigation devient prohibitif pour l'agriculteur.

Tendances en matière de morphologie fluviale

Nos cours d'eau européens ont été fortement aménagés pour la navigation et pour lutter contre les inondations. Une modification majeure a été de couper les fleuves de leurs plaines d'inondation, ce qui modifie considérablement leur fonctionnement. Même si on redécouvre l'intérêt des zones d'expansion des crues, il y a peu de chances que la disponibilité du foncier permette de recréer les vastes zones inondables d'autrefois.

Un autre impact tout aussi important a été la fragmentation des cours d'eau par des barrages. La politique affichée de reconquête de la continuité longitudinale va dans le sens de l'arasement de certains d'entre eux. Néanmoins, les citoyens ne sont pas tous favorables à la suppression des retenues qui ont permis localement une valorisation économique *via* les loisirs et le tourisme. Les candidats

à l'arasement sont en réalité peu nombreux en dehors des seuils à l'abandon.

Quant aux grands barrages, fers de lance de l'énergie hydraulique réputée verte, il y a peu de chances qu'on envisage de les araser sauf si, localement, pour des raisons économiques ou de sécurité (car les barrages vieillissent, eux aussi...), leur destruction est nécessaire. Il faudra continuer à les vidanger régulièrement, avec les conséquences que cela entraîne sur l'écologie des espèces en amont et en aval (flux de sédiments lors des chasses, effet thermique, etc.). Ils continueront également à réduire les flux de sédiments aux zones côtières, dont l'érosion se poursuivra.

Bien évidemment, le transit des éléments dissous et des sédiments dépend aussi des régimes hydrologiques et des débits, et donc de l'évolution du climat. La remontée du niveau de la mer peut agir également sur le profil en long des fleuves : le niveau de base remontant, ils pourraient alluvionner en certains endroits.

Remontée du niveau marin

Les scientifiques discutent de l'ampleur de la remontée du niveau marin, liée au réchauffement climatique, et de nouvelles estimations sortent régulièrement. Nicholls *et al.* (2011) estiment que, pour une hausse globale de 4 °C de la température moyenne en 2100, le niveau de la mer pourrait s'élever de 0,5 à 2 mètres. La plus grande incertitude sur les projections vient de la réponse du Groenland et de l'ouest de l'Antarctique.

Dans les estuaires, l'action conjuguée d'une baisse des débits et de la remontée du niveau marin pourrait entraîner une remontée du gradient de salinité et du bouchon vaseux vers l'amont, causant la salinisation des nappes et des terres. Dans les régions à faible relief, la remontée du niveau marin pourrait aussi provoquer la disparition de certaines zones terrestres. Ainsi, une simulation faite sur l'estuaire de la Seine indique que, pour une remontée de 1 mètre, une partie de l'actuelle réserve naturelle de l'estuaire de la Seine sera sous les eaux, et que, pour une élévation de 2 mètres, cette réserve sera en grande partie noyée.

Tendances en matière de température des eaux

La température est une des variables clés du fonctionnement des hydrosystèmes, compte tenu des préférences thermiques et des limites de tolérance thermique des espèces aquatiques (Tissot et Souchon, 2010), car les poissons sont des animaux ectothermes dont le métabolisme ainsi que les fonctions biologiques (reproduction, alimentation) sont fortement influencés par la température (Buisson, 2009).

En France, plusieurs travaux ont mis en évidence l'augmentation des températures des cours d'eau sur les trois dernières décennies. Ainsi, sur le Rhône français, la hausse de la température moyenne annuelle est de 1 à 2 °C sur l'ensemble du cours entre 1978 et 2008 (Poirel, 2008). Ces augmentations sont plus élevées sur le Rhône aval, et plus marquées au printemps et en été. Pour la Saône, la température moyenne à l'amont de Lyon s'est accrue de 1,2 °C de 1977 à 2002 (Mouthon et Daufresne, 2006). Sur la Loire moyenne, le réchauffement a été de 1,5 à 2 °C entre 1977 et 2003, également plus marqué au printemps et en été (Moatar, 2006). Mais si l'on considère la période 1949-2003, l'échauffement du fleuve a été plus modéré (de l'ordre de 0,5 °C).

Les conséquences de la hausse de température ont été surtout analysées pour les poissons. Elles peuvent avoir des effets sur les relations de prédation dans le réseau trophique, ou mener à des modifications des cycles biologiques. Ainsi, l'augmentation de la température au printemps et en été, associée aux basses eaux sur le Rhône, semble favoriser la reproduction du gardon (Dumont *et al.*, 2007). Mais les effets les plus marqués pourraient être des changements de la distribution des espèces avec des glissements vers des latitudes et altitudes plus élevées. Il en résulterait bien évidemment des changements dans la composition des communautés piscicoles.

On connaît peu de choses sur l'influence éventuelle d'un réchauffement sur les processus bactériens de recyclage et de reminéralisation de la matière organique.

Tendances en matière de qualité des eaux

L'amélioration de la qualité de l'eau est la condition *sine qua non* à tout projet de restauration des cours d'eau. Si les eaux sont par trop polluées, la restauration des habitats n'aura pas l'effet escompté. Si la qualité de l'eau de nos rivières est loin d'être parfaite, il y a eu néanmoins des progrès significatifs depuis quelques décennies. On a souligné des améliorations dans le traitement des eaux usées, qui se traduisent en particulier par une diminution significative des apports en phosphore. Mais d'autres polluants sont également en diminution.

Pourrons-nous réduire la pollution due aux pesticides ?

La question de la pollution par les phytosanitaires est lancinante. Malgré des programmes incitatifs en vue de réduire l'utilisation des phytosanitaires, les pollutions persistent de manière générale, même si l'interdiction de certaines substances a eu des effets significatifs.

Que dire d'autre que cette conclusion d'un rapport de l'agence de l'eau RMC (agence RMC, 2014) : « Après plus de quinze années d'actions en faveur de la réduction des pollutions par les phytosanitaires (plan phyto, Écophyto...), si certaines substances régressent par suite de leur interdiction (atrazine, simazine,), il faut reconnaître que le niveau de contamination n'a pas évolué de manière notable. Les pollutions par les pesticides restent un enjeu majeur parmi les substances qui contaminent les milieux aquatiques. » Le glyphosate et son métabolite, l'AMPA, sont en tête des pesticides les plus fréquemment retrouvés dans les rivières. Ils contaminent les trois quarts des cours d'eau échantillonnés en RMC, avec parfois des niveaux préoccupants. Cet herbicide non sélectif d'usage très courant est employé en zones agricoles pour tous les types de culture et en zones non agricoles par les collectivités et les particuliers.

Peut-on espérer un moindre impact des produits phytosanitaires ?

Confrontée à des contraintes d'ordre réglementaire, environnemental ou sociétal, la protection des cultures contre les ravageurs semble générer, depuis la fin des années 1990 un flux de créativité qui n'est pas sans ressemblance avec celui qui s'est produit entre 1870 et 1910, lorsque l'introduction du phylloxéra, du doryphore de la pomme de terre, le dépérissement des pommiers envahis par le puceron lanigère représentaient des menaces à court terme génératrices de mobilisation.

Le retrait de nombreuses substances actives (91/414), la mise en œuvre du « paquet pesticides » européen (4 directives), les restrictions environnementales, les orientations consécutives au plan Écophyto, ainsi que la mise au point de nouvelles solutions, ont conduit à dessiner une palette de moyens pour l'action directe bien différente de celle du passé.

On assiste donc à un phénomène ignoré du public et occulté par les détracteurs de l'agriculture. Par le jeu du retrait des substances anciennes et de l'arrivée des nouveaux composés de synthèse, le profil de la pharmacopée est en train de se modifier rapidement sur la plupart des critères qui décrivent la toxicité ou le risque environnemental.

La lutte directe fait aujourd'hui appel à une panoplie d'insecticides modernes plus spécifiques et beaucoup moins toxiques que les spécialités emblématiques d'une pharmacopée ancienne aujourd'hui disparue. Son utilisation s'appuie sur les bulletins de santé végétale et les outils d'aide à la décision. Elle est enrichie par un nombre croissant de solutions issues de micro-organismes, par de nombreux arthropodes auxiliaires, bénéficie du développement de la confusion sexuelle et du piégeage de masse, accompagnés pour certaines productions par le perfectionnement de méthodes de lutte physique. À ces nouveaux moyens s'ajoute une connaissance mieux partagée des mesures indirectes de protection, mises en pratique plus régulièrement par les agriculteurs, intégrées assez communément dans des stratégies de défense relevant de la protection intégrée (J.-L. Bernard, 2014).

Le plan Écophyto qui a été lancé après le Grenelle de l'environnement n'a pas donné de résultats à la hauteur des espérances... Mais on avait mis la barre un peu haut. Il faut poursuivre dans cette voie avec un nouveau plan, certes moins ambitieux, mais qui peut contribuer à une réduction substantielle des pollutions phytosanitaires.

Des substances ubiquistes omniprésentes dans l'environnement... et pour longtemps !

La Commission européenne, dans sa directive fille 2013/0298/CE du 2 juillet 2013, reconnaît le caractère ubiquiste de certaines substances, qui sont susceptibles d'être détectées pendant des décennies dans l'environnement aquatique, y compris à des concentrations qui pourraient présenter un risque significatif, même si des mesures rigoureuses visant à réduire ou éliminer leurs émissions ont déjà été prises. Il s'agit notamment :

- des retardateurs de flammes diphényléthers bromés et de l'hexabromocyclododécane ;
- du mercure et de ses composés, très largement présents dans la chair des poissons d'eau douce ;
- des hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP), dont l'origine est majoritairement diffuse et atmosphérique (combustion des matières fossiles pour la production d'énergie, chauffage, transports...) ;
- des composés du tributylétain, agents biocides utilisés pour le traitement du papier, du bois et des textiles industriels et d'ameublement ou dans des peintures pour coques de navires ;
- de certains composés perfluorés, en particulier les PFOS, utilisés, d'après l'Anses (2011), dans plus de 200 applications industrielles et domestiques (imperméabilisation de textiles, cuir et emballages, mousses anti-incendie, industrie électronique, synthèse de polymères fluorés) ;
- des dioxines et composés de type dioxine formés lors de combustions incomplètes de divers dérivés aromatiques chlorés, notamment l'incinération de déchets, qu'ils soient ménagers ou industriels ;
- des PCB de type dioxine (PCB-DL) ;
- de l'heptachlore, insecticide organochloré dont la production, la mise sur le marché et l'utilisation sont maintenant complètement prohibées dans l'Union européenne depuis 2004.

Le caractère ubiquiste de ces substances est très bien illustré par le bilan de l'état de contamination des bassins Rhône-Méditerranée et Corse (agence RMC, 2013) ou le bilan national produit en 2011 par le Commissariat général du développement durable (Dubois et Lacouture, 2011) :

- 99 % des sites de surveillance sont contaminés par les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP). À titre de comparaison, les niveaux de concentration du fluoranthène dans les sédiments du Doubs et de trois de ses affluents dépassent les concentrations rencontrées dans le bouchon vaseux de l'estuaire de la Seine, et sont de 2 000 à 4 000 fois supérieures aux concentrations considérées comme sans effet sur l'environnement ;
- les polychlorobiphényles (PCB) sont présents dans la moitié des sédiments des sites de surveillance en RMC, mais les niveaux ne sont pas élevés, en général. Ces composés, très toxiques pour l'environnement et dangereux pour la santé humaine, sont interdits de vente et d'utilisation en France depuis 1987. Pour autant, ils sont toujours présents dans l'environnement, alors que leurs émissions ont été stoppées, car ils sont très stables et donc persistants. Néanmoins, on a constaté que les flux de PCB dans les matières en suspension charriées par le Rhône à Arles ont très fortement diminué au cours des trente dernières années ;
- l'étude de la contamination des poissons d'eau douce par les contaminants persistants que sont les PCB, PBDE (polybromodiphényléthers), PFC (perfluorocarbure) et métaux, réalisée en 2008-2010 par Babut *et al.* (2011) sur le bassin Rhône-Méditerranée, a mis en évidence une contamination généralisée des poissons par les retardateurs de flamme PBDE. Plus de 40 % des analyses effectuées entre 2007 et 2009 au niveau national présentent des PBDE (Dubois et Lacouture, 2011), pour l'essentiel dans les sédiments.

Ces contaminations à caractère ubiquiste sont le reflet d'une empreinte anthropique globale sur l'environnement, au travers des multiples vecteurs de pollution des eaux : voie atmosphérique, lessivage des sols et surfaces imperméabilisées, héritages de pollutions passées, stockées dans les sédiments pour des polluants persistants, fond géochimique naturel dont les apports peuvent être aggravés par l'action de l'homme. Il est donc difficile d'identifier précisément les sources et de quantifier les flux. Constater la

présence de ces substances ne suffit pas pour diagnostiquer une pollution et envisager une action. On peut s'imaginer que la lutte contre la pollution sera longue... Quoi qu'il en soit, quelques priorités peuvent être dégagées :

- mieux lutter contre les foyers de contamination connus ;
- mieux traiter les rejets domestiques très diversifiés *via* les eaux usées et les déversoirs d'orage pour les systèmes urbains ;
- rechercher et traiter les sources ignorées des pollutions héritées du passé (sédiments ou sols contaminés), souvent d'origine industrielle, et le « stockage » de contaminants dans les sédiments potentiellement remobilisables lors de crues, de tempêtes ou de travaux.

Les enjeux de reconquête de la qualité des eaux dans l'estuaire de la Seine

Ils sont aujourd'hui multiples :

- gérer la multicontamination héritée du passé ;
- développer le suivi des contaminants émergents (produits pharmaceutiques, retardateurs de flamme, détergents) ;
- réduire les sources industrielles, urbaines, agricoles, ponctuelles et diffuses, à l'échelle de l'estuaire et du bassin versant de la Seine ;
- assurer un suivi pérenne et pertinent de l'état de santé de l'estuaire ;
- optimiser l'analyse du risque pour protéger l'homme et l'environnement (Fisson, 2014).

L'eutrophisation

Parmi les problèmes liés à la qualité de l'eau des fleuves, il y a l'existence de périodes d'anoxie, résultant d'une trop grande quantité de matières organiques en décomposition provenant en grande partie de rejets urbains ou industriels. Ces périodes d'anoxie ont généralement lieu en été et se manifestent notamment par des mortalités de poissons. Mais, bien évidemment, les invertébrés sont également affectés. La modernisation et l'extension des stations d'épuration ont réduit de manière significative les apports en matière organique dans les cours d'eau. Une question reste en suspens : les apports massifs d'eau polluée dans les cours d'eau suite aux orages ou aux pluies diluviennes. Des efforts sont en cours pour pallier à

ces problèmes. Dans le cas de l'estuaire de la Seine, l'analyse des mesures d'oxygène montre une diminution très significative de la zone déficitaire en oxygène dans l'estuaire depuis les années 1956. Cette régression se manifeste par la moindre amplitude spatiale et la durée plus faible du phénomène. Elle est le résultat des efforts de traitement des effluents et de contrôle des rejets, aussi bien dans les industries que dans les stations d'épurations urbaines.

Globalement, selon une étude statistique publiée par le Medde^[22], portant sur l'état des cours d'eau métropolitains en 2011, la demande biochimique en oxygène, indicateur de la quantité de matières organiques biodégradables présentes dans l'eau, a diminué de près de moitié depuis 1998, ce qui est le résultat de meilleures performances obtenues par les stations d'épuration.

L'ammonium, autre paramètre caractéristique de l'efficacité des traitements épuratoires, confirme lui aussi une nette tendance à la baisse (– 59 %). De même, les orthophosphates diminuent de 43 % sur la même période, sous l'effet conjugué d'une réduction sensible des apports agricoles, d'une amélioration de la performance des stations urbaines et de la réduction des lessives au phosphore.

L'évolution des teneurs en nitrates est contrastée suivant les bassins. La tendance à l'augmentation se poursuit dans certains bassins aux teneurs en nitrates faibles ou, au contraire, dans d'autres bassins aux concentrations déjà élevées, comme les bassins de la Seine et de l'amont du Rhône. L'amélioration se confirme pour les bassins fortement agricoles dans l'Ouest, où l'utilisation d'intrants azotés a diminué.

La mise en place de la nitrification sur la station d'épuration Seine-Aval en 2007 a été décisive pour l'amélioration de la qualité de la Seine et de son estuaire (ammonium, mais aussi oxygène dissous). Avec la mise en place, plus récente, de la dénitrification, l'« azote des villes » ne représente plus aujourd'hui que 25 % des apports azotés de la Seine à la mer (agence Seine-Normandie, 2013). Par contre, les éventuels progrès réalisés en agriculture dans la gestion de la fertilisation semblent être effacés par l'augmentation des

surfaces en grandes cultures à haut rendement et la diminution des surfaces en prairies. La pression potentielle en azote d'origine agricole reste donc forte sur le bassin et les concentrations en nitrates des eaux superficielles continuent d'augmenter.

Sur la Seine, le risque d'eutrophisation a cependant beaucoup régressé. Sur les 1 119 stations suivies en eau douce, seules 26 dépassent les niveaux considérés comme problématiques en termes de prolifération végétale. Et sur le littoral, les épisodes de prolifération d'algues ont diminué (Asen, 2013), contrairement à la Bretagne...

Traitement des déversoirs d'orage

La maîtrise des eaux pluviales est devenue un enjeu pour de nombreuses collectivités. Car, s'il est relativement facile de prévoir les volumes d'eaux usées domestiques rejetés dans les réseaux d'assainissement, il en va différemment en ce qui concerne les eaux pluviales, du fait des variations brutales de débit qui peuvent provoquer des déversements d'eaux usées dans les cours d'eaux. L'augmentation de l'imperméabilisation des villes, en particulier, peut renforcer ces phénomènes.

Les collectivités avaient jusqu'ici l'habitude de collecter l'eau de pluie dans les mêmes égouts que les eaux usées (réseaux d'assainissement dits unitaires) et de la renvoyer à la station de traitement des eaux usées, ou de la rejeter directement au milieu récepteur, avec évidemment les matières organiques et les polluants dont les eaux se sont chargées en ruisselant sur les terrains imperméabilisés. Ces eaux d'orages, en apportant brutalement des quantités importantes de matière organique dans les cours d'eau, sont souvent à l'origine d'une crise anoxique due à la décomposition de la matière organique, dont les manifestations concrètes visibles sont des mortalités de poissons.

On assiste néanmoins à quelques changements de pratiques encore timides avec l'application de techniques dites alternatives (noues,

puits d'infiltration, structures réservoirs, toitures stockantes...) qui présentent plusieurs avantages : réduire, et éventuellement réguler, les apports d'eau dans les réseaux et à la station de traitement des eaux usées ; permettre aux eaux de pluies de ne pas se charger en polluants en s'infiltrant rapidement, contribuant ainsi à recharger les nappes.

Trajectoires des peuplements d'invertébrés benthiques

Il existe peu d'études de long terme sur la dynamique des communautés benthiques. Celles qui existent mettent néanmoins en évidence une dérive temporelle des communautés d'invertébrés, attribuée parfois aux changements climatiques, mais dont la cause est probablement plus complexe, et qui se traduit par la diminution progressive du nombre de *taxa* sensibles, rhéophiles et sténothermes, au profit de *taxa* généralistes, limnophiles et eurythermes^[23] (Daufresne *et al.* 2004).

Les peuplements d'invertébrés de la Loire

Sur la Loire moyenne, au cours de trois décennies (1979-2008), il y a eu une augmentation de 1,2 °C de la température moyenne annuelle des eaux, et une réduction du débit moyen de 25 % environ, avec une exacerbation lors de la période chaude, de mai à août (+ 2°C et – 40 %). Mais, de manière concomitante, il y a eu une amélioration sensible de la qualité des eaux, et notamment une réduction de la teneur en phosphore.

En ce qui concerne les peuplements d'invertébrés (Floury *et al.*, 2011 ; Floury, 2013), on a d'abord constaté, au début de la période d'observation, la disparition rapide (en cinq à six ans) de taxons polluo-sensibles et rhéophiles tels que les Plécoptères (Chloroperlidae, Perlodidae) et certains Ephéméroptères (Oligoneuriidae). Ces invertébrés spécialistes ont été les premiers affectés par le réchauffement des eaux et la réduction marquée du

débit lors des dix ou quinze premières années. D'autres taxons, principalement des Ephéméroptères (e.g. Heptageniidae, Polymitarcyidae), paraissent également défavorisés par les modifications hydroclimatiques, avec une baisse régulière des effectifs au cours des trente dernières années. À l'inverse, un certain nombre de familles suffisamment tolérantes ne semblent pas touchées telles que les Baetidae et les Caenidae (Ephéméroptères), des Hydropsychidae (Trichoptères), des Chironomidae (Diptères) et des Gammaridae (Crustacés Amphipodes), dont l'abondance est relativement stable voire en légère augmentation.

Par ailleurs, des organismes généralistes, polluo-tolérants, limnophiles et eurythermes, tels que des Diptères (Dolichopodidae, Stratiomyidae), des Turbellariés (Planaires) ou des Hirudinées, font leur apparition dans le système au cours des années 1990-1995.

En outre, on a également observé dans la Loire moyenne la réapparition et l'augmentation croissante, à partir de 1990-1995, de nouveaux taxons spécialistes, sensibles au substrat et à la qualité générale de l'eau, tels que des familles de Trichoptères (e.g. Brachycentridae, Glossosomatidae, Philopotamidae, Sericostomatidae) ou d'Ephéméroptères (e.g. Ephemeridae et Leptophlebiidae). Ces taxons ont des profils écologiques similaires aux taxons disparus au milieu des années 1980, ce qui pourrait être interprété comme le fait qu'il n'y a pas reconstitution à l'identique des peuplements mais que les mêmes fonctions écologiques peuvent être assurées par d'autres espèces.

Enfin, la Loire a été colonisée par des espèces dites invasives lors de la dernière décade, dont *Corbicula* sp. (Bivalvia), *Atyaephyra desmarestii* (Decapoda, Atyidae) et *Chelicorophium curvispinum* (Amphipoda, Corophiidae), trois espèces plutôt thermophiles et inféodées à des milieux d'eau calme, voire stagnante.

En termes de richesse taxonomique, les modifications de la structure de la communauté se sont traduites par une augmentation significative du nombre de familles d'invertébrés au cours des trente ans d'observation (en moyenne de 28 *taxa* les cinq premières

années, à 44 *taxa* les cinq dernières). Peu de *taxa* ont disparu au cours de cette période et l'arrivée de nouvelles familles a contribué à enrichir la communauté.

Les mollusques de la Saône

En matière de suivis à long terme, certains travaux concernant les trajectoires passées ont mis en évidence un phénomène assez bien connu en écologie : les conséquences de perturbations importantes sur la dynamique des peuplements. Ainsi, Mouthon et Daufresne (2006) ont suivi durant de nombreuses années les populations de mollusques dans la Saône et le Doubs. Entre 1987 et 2003, la température moyenne des eaux a augmenté de 1,5 °C et les peuplements de mollusques ont évolué progressivement, probablement en réponse à cette élévation de température. Les effectifs d'espèces comme *Valvata cristata*, *V. piscinalis*, *B. tentaculata*, *M. lacustre*, étaient en augmentation. En juillet-août 2003, la vague de chaleur qui a frappé l'Europe s'est accompagnée d'un changement brutal dans la structure des communautés et d'un déclin prononcé de la richesse et de la densité des populations de mollusques. En 2004, la densité était toujours faible, notamment celle des *Pisidium*.

Les invertébrés du Rhône

L'étude de Daufresne *et al.* (2004) sur le site de Bugey a précisé les changements survenus sur le haut Rhône de 1980 à 1999 :

- d'une part, une disparition progressive des taxons d'eau froide et rhéophiles tels que les Plécoptères (*Chloroperla*, *Nemura*, *Protonemura*, *Amphinemura*, *Brachyptera*), Trichoptères (*Rhyacophila*, *Athripodes*), Ephéméroptères (*Ecdyonurus*, *Caenis*), Diptères *Stratiomyidae* ;
- d'autre part, un développement de taxons thermophiles et limnophiles tels que les Hétéroptères (*Corixa*), Trichoptères (*Oecetis*), Diptères (*Athricops*, *Lepidostoma*), Odonates (*Coenagrion*, *Platycnemis*), Mollusques Gastéropodes

(*Potamopyrgus Theodoxus*) et bivalves (*Corbicula*), Planaires (*Dendrocoelum*)...

La faune de macro-invertébrés du Rhône comporte 25 espèces exotiques dont 11 ont été introduites au cours de la dernière décennie. Certaines espèces introduites sont réputées modifier les réseaux trophiques en éliminant le plancton végétal et influencer la qualité de l'eau en filtrant des particules nutritives en suspension. C'est le cas des mollusques *Corbicula* ainsi que de la moule zébrée (*Dreissena polymorpha*).

Sur le Rhône moyen, Dessaix et Fruget (2008) ont également mis en évidence les modifications de la structure des communautés de crustacés benthiques, en liaison avec l'arrivée de nouvelles espèces. Le suivi, depuis le début des années 1980, montre une diminution régulière et marquée des populations de crustacés autochtones depuis une dizaine d'années, en particulier des aselles, alors que plusieurs espèces de crustacés invasifs sont progressivement apparues.

Une première vague de crustacés invasifs (*Gammarus tigrinus*, *Dikerogammarus villosus*) a été observée durant les années 1990 sur le Rhône moyen, principalement en relation avec le développement des liaisons fluviales inter-bassins (ouverture du canal entre le Danube et le Rhin, par exemple). Ces colonisations ont pu être favorisées par d'importants épisodes hydrologiques. La période de canicule et post-caniculaire du début des années 2000 se traduit par l'apparition d'une seconde vague d'espèces exotiques invasives (*Atyaephira desmarestii*, *Hemimysis anomala*, *Chelicorophium curvispinum*) et l'installation durable des premiers arrivants.

Les espèces « envahissantes »

Le changement climatique, mais surtout la multiplication des échanges commerciaux internationaux, et la demande des citoyens en matière de nouveautés sont à l'origine de l'introduction en Europe de nombreuses espèces liées aux milieux aquatiques : les principales voies d'introduction sont les ballasts des bateaux, les jardinerie, les canaux qui relient les bassins hydrographiques. En ce qui concerne les invertébrés aquatiques, on comptait en 2005 en métropole au moins 43 espèces exotiques

naturalisées, avec une immense majorité de crustacés (écrevisses, amphipodes, crabe chinois) et de mollusques. On compte peu d'espèces d'insectes introduites, mais le moustique tigre *Aedes albopictus* va continuer à faire parler de lui. Concernant les plantes, la récente synthèse de Thiébaud (2007) porte à 58 les espèces végétales macroscopiques exotiques en France.

En matière de naturalisation de nouvelles espèces dans nos cours d'eau, il y a peu de chances que les introductions se ralentissent, sauf crise économique majeure qui réduirait fortement les échanges commerciaux. Dans l'hypothèse d'un scénario climatique pessimiste, on doit donc s'attendre à voir arriver et se naturaliser de nombreuses espèces méditerranéennes ou venues d'autres continents. Il est bien évident qu'en raison de l'existence du réseau de canaux reliant les grands fleuves, toute introduction dans l'espace européen pourra affecter potentiellement l'ensemble des cours d'eau. Sans compter que la politique des trames bleues ne pourra que favoriser la dispersion de ces espèces.

Trajectoires des peuplements de poissons

Une synthèse de l'histoire des peuplements de poissons des grands cours d'eau français a été actualisée dans *Les poissons d'eau douce de France* (Keith *et al.*, 2011). Le Pléistocène (depuis – 2 Ma) est marqué par une série de périodes glaciaires, et le climat a été globalement froid pendant cette période. Il est vraisemblable que les vagues de froid successives, alternant avec des périodes de réchauffement, ont entraîné la disparition de nombre d'espèces dans les cours d'eau septentrionaux, suivie par une recolonisation en période plus clémente, selon les opportunités de déplacement des poissons. Quoi qu'il en soit, la faune a été considérablement appauvrie par ces effets d'essuie-glace qui venaient régulièrement mettre à mal les tentatives de recolonisation !

Mais, depuis la fin de la dernière glaciation (environ – 12 000 ans), la présence humaine a engendré d'importants changements. Au total, 43 espèces de poissons ont été introduites en France pour améliorer la production piscicole et pour la pêche amateur (Keith *et al.*, 2011), dont les deux tiers sont toujours présents de nos jours, ce qui est relativement important si l'on considère qu'il y a une centaine de taxons de poissons d'eau douce en métropole. On a pratiqué à certaines périodes des repeuplements afin de renforcer les populations affaiblies par la pêche ou les pollutions. On a également

introduit des espèces pour diversifier la pêche sportive (black-bass, truite arc-en-ciel), mais quelques-unes sont également arrivées « par accident ».

Les migrants amphihalins

Les aménagements des grands cours d'eau depuis le ^{xix}^e siècle (endiguement, puis construction de barrages) ont beaucoup modifié les habitats. De manière générale, quelques grands migrants sont devenus beaucoup plus rares car leurs zones de reproduction n'étaient plus accessibles du fait des barrages, mais aussi en raison de la détérioration de la qualité des eaux.

La Seine et ses poissons

La Seine a perdu beaucoup de ses poissons diadromes depuis la révolution industrielle. Au ^{xii}^e siècle, 11 espèces de poissons diadromes étaient présentes dans la Seine : la lamproie de mer, la lamproie de rivière, l'esturgeon européen, l'anguille, la grande alose, l'alose feinte, l'éperlan, le saumon atlantique, la truite brune *Salmo trutta*, le mulot *Liza ramada* et le flet commun. Ces populations étaient abondantes et exploitées commercialement. On possède une estimation des débarquements de poissons diadromes à Rouen à la fin du ^{xix}^e siècle : la moitié est constituée d'anguilles, l'éperlan, l'alose feinte et la grande alose représentant chacun 15 % des prises. (Euzenat *et al.*, 1992).

La construction du barrage de Poses, en 1885, a entraîné la disparition des populations de grande alose et fortement limité les populations de saumons. Les espèces utilisant seulement la partie inférieure du fleuve, telles que l'éperlan et l'alose feinte, se sont maintenues jusque vers les années 1950, mais la pollution résultant des rejets des stations d'épuration de Paris (il y avait alors une centaine de kilomètres d'eau anoxique !) leur a porté un coup fatal. Depuis, en raison de l'amélioration de la qualité des eaux, une communauté de poissons résidents assez riche s'est reconstituée, à partir des populations vivant dans les tributaires. Ce n'est pas le cas pour les poissons diadromes, qui effectuent des migrations pour trouver des habitats favorables à la reproduction et à la croissance des jeunes. Un plan de restauration pour ces espèces amphihalines doit donc être plus ambitieux que pour les espèces résidentes.

Rochard (2007) a étudié l'évolution possible des aires de répartition de différents poissons migrants en Europe dans la perspective d'un changement climatique. Les aires de distribution potentielles de la plupart des poissons migrants européens seraient diminuées,

sauf pour le mulot porc et l'aloise feinte, dont les aires de distribution potentielle pourraient s'agrandir. Le Rhône resterait favorable au mulot porc, mais deviendrait défavorable au flet.

Ces résultats sont exploratoires et ne sont issus que d'un seul modèle climatique, on ne peut donc pas se prononcer sur leur robustesse. Néanmoins, ils permettent de mesurer l'amplitude possible des changements concernant la distribution des espèces sous forçage climatique, et montrent que le retour à des états antérieurs ne peut manifestement pas être un objectif en matière de restauration. Ainsi, pour le scénario A2 du Giec, et à l'horizon 2080, le nombre de bassins versants favorables au saumon atlantique diminuerait (Rochard et Lasalle, 2010). En particulier, le bassin versant de la Garonne ne lui serait plus favorable. Mais pour le scénario B1 du Giec, le plus favorable, le saumon se maintiendrait dans la Garonne et dans la plupart des fleuves bretons. Les investissements en vue de sauvegarder une espèce donnée doivent bénéficier des éléments disponibles sur la viabilité à terme des populations de cette espèce dans le bassin concerné. Sinon, c'est du temps et de l'argent gâchés.

Les poissons d'eau douce

Une étude basée sur les informations fournies par des documents historiques (1840-1870) a permis d'établir une liste exhaustive des espèces dans 18 tronçons de cours d'eau du bassin de la Seine, qui ont été confrontées à des données récentes (Belasgic, 2013). L'analyse des trajectoires temporelles des peuplements montre notamment que les modifications sur le long terme sont bien plus importantes que celles constatées sur la période récente. Ainsi, l'essor des espèces rhéophiles (poissons de courant) apparaît comme une tendance significative sur le long terme. Il est possible que la cause réside dans les changements hydromorphologiques – en particulier la suppression de nombreux étangs au cours de la période étudiée.

« Depuis le début du Moyen Âge, 23 espèces de poissons ont été introduites dans le bassin de la Seine. Parmi celles-ci, 18 espèces ont été observées dans le bassin dès le XIX^e siècle. L'introduction de ces espèces a complètement bouleversé l'image du spectre faunique du bassin de la Seine. La faune piscicole "originelle" du bassin de la Seine est très pauvre : elle est estimée à 32 espèces. La faune "originelle" du bassin, qui était considérée comme étant l'une des plus pauvres des bassins français, s'est donc considérablement enrichie au cours des deux derniers siècles, sous l'influence plus ou moins directe de l'homme. Entre les espèces introduites par curiosité scientifique, celles introduites pour repeupler les cours d'eau et celles qui ont profité de certaines connexions entre bassins, c'est toute l'image du spectre faunique du bassin qui s'est trouvée modifiée sur une période de temps relativement courte. » (Beslagic, 2013)

La distribution de quelques espèces d'eau froide (truite fario, chabot) pourrait être restreinte aux parties les plus élevées des réseaux hydrographiques. Mais d'autres espèces comme la perche, le goujon, la vandoise, le brochet ou le hotu sont potentiellement sensibles aux élévations de température. Au contraire, les espèces tolérant des températures plus élevées pourraient coloniser de nouveaux habitats et étendre ainsi leur répartition, à l'exemple de la tanche, du rotengle, de la brème, du poisson-chat ou du silure glane (Daufresne, 2008).

Buisson (2009) a simulé l'évolution possible des conditions hydroclimatiques de tronçons de cours d'eau français à l'horizon 2050-2080, et la probabilité pour 35 espèces de poissons d'eau douce d'y trouver des conditions favorables. Cinq espèces pourraient voir leur aire de distribution diminuer : le chabot, la lamproie de Planer, la perche, le vairon et la truite fario. En revanche, beaucoup d'espèces trouveraient des conditions plus favorables et leur aire de distribution s'étendrait, à l'exemple du blageon, de la perche soleil, du chevesne, du barbeau ou de l'anguille. Globalement, la diversité spécifique augmenterait localement dans le sud du Massif central et dans les Pyrénées. Dans les zones de montagne et les zones amont, de profonds réarrangements pourraient avoir lieu, avec une réorganisation des communautés de poissons, une augmentation de la diversité locale, mais aussi une homogénéisation possible.

Comme pour les invertébrés, le réchauffement des eaux pourrait être favorable à la naturalisation d'espèces de poissons exotiques, quand on sait que divers poissons d'aquarium sont retrouvés régulièrement dans les cours d'eau (Beisel et Lévêque, 2010). Dans une méta-analyse, Daufresne (2008) a pu montrer un accroissement significatif des proportions de poissons méridionaux et thermophiles dans les biefs des cours d'eau français non soumis à l'influence des aménagements hydrauliques, et une augmentation de la richesse spécifique au cours des quinze à vingt-cinq dernières années. Mais l'augmentation de la richesse spécifique est plus probablement liée à l'augmentation des occurrences des espèces qu'à l'apparition de nouvelles espèces. Des barrières à la migration résultant des aménagements semblent freiner l'accroissement des proportions de poissons méridionaux.

Un peu de prospective ?

La prospective invite à penser l'avenir comme un espace de projet. Il s'agit d'imaginer des situations et des orientations, ainsi que les marges de manœuvre que l'on pourrait avoir pour tendre vers un avenir souhaité.

Une démarche de prospective fait appel au passé pour comprendre le présent, aux raisonnements qualitatifs, aux jeux d'acteurs et aux contingences : il y a toujours plusieurs futurs probables, qui ne sont pas nécessairement l'extrapolation de la situation actuelle. Il peut exister en particulier des ruptures d'origine sociale ou technologique.

Le projet Aqua 2030^[24] a retenu la méthode des scénarios qui repose sur une approche systémique et qui incorpore les notions de crises et de rupture.

Les cinq scénarios du projet Aqua 2030

Scénario 1 : Tension économie/environnement

Ce scénario « de référence » ou « tendanciel » se caractérise par une poursuite des dynamiques mondiales, régionales et nationales équivalentes à celles de ces vingt dernières années (arbitrages socio-économiques prévalant sur la préservation de

l'environnement, poursuite de l'étalement urbain, augmentation des pollutions diffuses agricoles, etc.). Il ne comporte aucune rupture majeure, qu'elle soit économique, sociale, écologique ou de gouvernance.

Scénario 2 : À vau l'eau, la crise

Ce scénario se caractérise par une poursuite, voire une accentuation de la crise. Les revenus des Français baissent. La précarité et les inégalités s'accroissent. Les préoccupations économiques et sociales prennent le pas sur les préoccupations environnementales. Diminution des pollutions diffuses agricoles en raison de l'accroissement de l'agriculture extensive, surexploitation des nappes phréatiques.

Scénario 3 : Techno-garden, anthropisation

Ce scénario se caractérise par une sensibilisation des ménages par suite d'une intensification des événements climatiques extrêmes : consentement à payer pour l'environnement, préservation des milieux par la technologie, diminution des pollutions tous usages y compris polluants émergents, maîtrise des risques par la technologie.

Scénario 4 : Des régions solidaires ou solitaires ?

Scénario de sensibilisation accrue aux préoccupations environnementales par suite d'une intensification des événements climatiques extrêmes : décentralisation choisie en matière de politiques environnementales, responsabilité de mise en œuvre des directives européennes confiée aux régions, prise d'initiatives des acteurs locaux, qui font des choix différenciés de développement. Un schéma de type « Länder » à l'allemande se développe en France.

Scénario 5 : Le choix des technologies douces

Scénario de changement de comportement (« l'être humain se restreint pour respecter les écosystèmes ») par suite d'une intensification des événements climatiques extrêmes, avec sortie de crise, technologies douces utilisant les fonctions naturelles des écosystèmes, intégration des valeurs des écosystèmes, diminution des pollutions, diminution des prélèvements.

Ces cinq scénarios fournissent beaucoup d'informations pour alimenter la réflexion sur les futurs possibles des systèmes aquatiques continentaux et les conditions pour répondre à la Directive cadre sur l'eau.

Le scénario « tendanciel » (1) indique que nous sommes déjà dans une dynamique d'amélioration concernant les prélèvements et les rejets des ménages (et de l'industrie). Seul l'usage agricole accroît encore sa pression sur les écosystèmes aquatiques (prélèvements et pollutions), bien que des politiques d'amélioration soient en marche. Cependant, les décisions politiques finales entre intérêts

socio-économiques et intérêts environnementaux pénalisent ces derniers.

Le scénario « à vau l'eau, la crise » (2) aurait pu conduire à une pression plus sobre sur la ressource en eau compte tenu de la faiblesse des activités économiques dans ce scénario. Mais la crise affecte aussi les budgets publics, et le manque de contrôle sur l'application des réglementations conduit à une utilisation plus anarchique des ressources (par les entreprises et les ménages) et à des pollutions et des prélèvements en croissance avec le vieillissement des équipements, des réseaux d'adduction et d'assainissement sans rénovation.

Le scénario « le local » (4) n'apparaît pas globalement comme très positif pour les écosystèmes aquatiques en raison des choix très différents de politique de l'eau réalisés par les territoires en fonction de leur histoire et de leur structure économique. Le manque de coordination politique entre eux est une contrainte supplémentaire. Ainsi, il est apparu difficile de passer en moins de vingt ans (à l'horizon 2030) du modèle jacobin français, malgré la succession des politiques de décentralisation menées depuis quarante ans, à un modèle de type plus fédéral. Ce scénario pâtit de l'hétérogénéité des politiques locales, malgré les choix exemplaires de certaines régions, et présente de forts risques de conflits.

Seuls les scénarios « techno-garden, anthropisation » (3) et « le choix des technologies douces » (5) permettent une réduction importante, tant des prélèvements que des pollutions, et tous deux ont une préoccupation de continuité écologique. La continuité écologique est cependant mieux assurée dans le scénario 5 que dans le scénario 3. Elle est alors le point le plus difficile à améliorer, les prélèvements et la pollution diminuant déjà pour certains usages. Néanmoins, la construction de ces deux scénarios a montré la difficulté à conjuguer les objectifs environnementaux énergie-climat du développement durable des territoires et les objectifs « eau ». Au-delà de l'hydro-électricité et de la culture de biomasse (qui requiert toujours de l'eau), qui peuvent servir les objectifs d'énergie moins

carbonée mais qui affectent le bon état des eaux, la densification urbaine pour une moindre consommation énergétique contraint l'espace nécessaire aux variations hydrologiques des cours d'eau en ville. La navigation, mode de transport longue distance qui consomme le moins d'énergie à la tonne transportée, oblige à aménager les cours d'eau et à rompre la continuité écologique. C'est pourquoi il s'est avéré impossible de parfaitement concilier les objectifs climat-énergie et eau.

On notera aussi que ces deux scénarios (3 et 5) ont un coût économique ou foncier important : le scénario 3 pour l'investissement massif dans les infrastructures et la technologie, le scénario 5 pour le coût du foncier (espace nécessaire à l'eau dans les villes et systèmes d'épuration lagunaires). Tous deux peuvent suggérer également un coût social non négligeable : l'acceptabilité de l'artificialisation dans le scénario 3 et l'acceptabilité de laisser la place à l'eau pour les riverains actuels des cours d'eau dans le scénario 5. Enfin, l'impact de ces scénarios sur la biodiversité, notamment les espèces emblématiques, montre qu'il est difficile de conserver toutes les espèces dans leur habitat traditionnel, même dans les scénarios les plus favorables à leur maintien, ne serait-ce qu'en raison du changement climatique et de l'augmentation de la température de l'eau.

Pour en savoir plus

Amigues J.-P., Debaeke B., Lemaire G. (eds), 2006. Sécheresse et agriculture. Réduire la vulnérabilité de l'agriculture à un risque accru de manque d'eau. Expertise scientifique collective, synthèse du rapport. Inra (France), 72 p.

Babut M., Roy A., Lopez C. et Pradelles S., 2011. Contamination des poissons d'eau douce par les PCB et d'autres contaminants persistants dans le bassin Rhône-Méditerranée – Détermination de facteurs d'accumulation sédiments-poissons et d'une valeur seuil dans le sédiment au-delà de laquelle les poissons risquent de

dépasser le seuil réglementaire de consommation. Rapport d'étude Irstea-Dreal Rhône-Alpes. 80 p.

Beisel L.N. et Lévêque C., 2010. Les introductions d'espèces dans les milieux aquatiques. Faut-il avoir peur des invasions biologiques ? Éditions Quæ, 232 p.

Bernard J.-L., 2014. Innovations, méthodes alternatives et complémentaires : quelles pistes dans un avenir proche pour protéger les cultures des ravageurs ? Académie d'agriculture de France, séance du 9 avril 2014. 16 pages (sur le web).

Boe J., 2007. Changement global et cycle hydrologique. Une étude de régionalisation sur la France. Université Paul-Sabatier, Thèse en sciences de l'univers. <http://thesesups.ups-tlse.fr/227/> (consulté le 23/11/2015).

Buisson L., 2009. Poissons des rivières françaises et changement climatique : impacts sur la distribution des espèces et incertitudes des projections. Thèse de doctorat, université de Toulouse, 282 p.

Chauveau M. *et al.*, 2013. Quels impacts des changements climatiques sur les eaux de surface en France à l'horizon 2070 ? *La Houille blanche*, 4: 5-15.

Daufresne M. et Boet P., 2007. Climate change impacts on structure and diversity of fish communities in river. *Global Change Biology*, 13: 1-12.

Daufresne M., 2008. Impact des pressions climatiques et non climatiques sur les communautés piscicoles des grands fleuves français. *Hydroécologie appliquée*, 16: 109-134.

Daufresne M., Roger M.-C., Capra H. et Lamouroux N., 2004. Long-term changes within the invertebrate and fish communities of the upper rhone river: effects of climatic factors. *Global Change Biology*, 10, 124-140.

Dessaix J. et Fruget, J.-F., 2008. Évolution des peuplements de crustacés du Rhône moyen au cours des vingt dernières années, relation avec la variabilité hydroclimatique. *Hydroécol. Appl.*, 16: 1-27. <http://dx.doi.org/10.1051/hydro/2009001> (consulté le 23/11/2015).

Dubois A. et Lacouture L., 2011. Bilan de présence des micropolluants dans les milieux aquatiques continentaux – Période 2007-2009. Rapport n °54. Études et documents du commissariat général au développement durable. 56 p.

Durance I. et Ormerod S.J., 2009. Trends in water quality and discharge confound long-term warming effects on river macroinvertebrates ». *Freshwater Biology*, 54, 388-405.

Euzénat G., Penil C. et Allardi J., 1992. Migr'en Seine. Stratégie pour le retour du saumon en Seine. Siapp et Conseil supérieur de la pêche, Paris.

Fabre J., 2012. Impacts du changement climatique dans le domaine de l'eau sur les bassins Rhône-Méditerranée et Corse ; bilan des connaissances, septembre 2012. Plan d'adaptation au changement climatique bassins Rhône-Méditerranée et Corse (sur le web).

Fisson C. (coord.), 2014. L'estuaire de la Seine : état de santé et évolution. Fascicules Seine-Aval 3.1 (sur le web).

Floury M., 2013. Analyse des tendances d'évolution de peuplements de macroinvertébrés benthiques dans un contexte de réchauffement des eaux. Thèse à l'université Blaise-Pascal, Clermont-Ferrand (sur le web).

Floury M., Delattre C., Ferreol M., Villeneuve B. et Souchon Y., 2011. Tendances d'évolution à long terme des macro-invertébrés benthiques dans le contexte de changement global : exemple de la Loire moyenne sur une période de trente ans. Conférence IS Rivers 2012.

GIP Seine-Aval. Qualité de l'eau et contaminations : niveaux d'oxygénation dans l'estuaire de la Seine. Fiches thématiques (sur le web).

Giuntoli I. *et al.*, 2013. Low flow in France and their relationship to large scale climate indices. *Journal of Hydrology*, 482 : 105-118.

Khalanski M., G. Carrel G., Desaint B., Fruget J.-F., Olivier J.-M., Poirel A. et Souchon Y., 2008. Étude thermique globale du Rhône – Impacts hydrobiologiques des échauffements cumulés. *Hydroécol. Appl.* t. 16, p. 53-108.

Lassalle G., Béguer M., Beaulaton L. et Rochard E., 2009. Learning from the past to predict the future responses of European diadromous fish to climate change. *In Haro et al., Challenges for Diadromous Fishes in a Dynamic Global Environment*. American Fisheries Society Symposium, 69, Bethesda, Maryland.

Maton L., J. Rinaudo D., Terrasson I. et Chazot S., 2010. Demande en eau agricole -Impact du changement climatique et adaptation. Présenté à la réunion de clôture du projet Vulcain (9 novembre 2010, Collioure).

Medde, 2012b. Vulnérabilité des milieux aquatiques et de leurs écosystèmes. Étude des zones humides. Explore 2070, Eau et changement climatique, 144 p. + annexes.

Moisselin J.-M., Schneider M., Canellas C. et Mestre O., 2002. Les changements climatiques en France au xx^e siècle. Étude des longues séries homogénéisées de données de température et de précipitations. *La Météorologie*, 38 : 45-56.

Mouthon J. et Daufresne M., 2006. Effects of the 2003 heatwave and climatic warming on mollusc communities of the Saône: a large lowland river and of its two main tributaries (France). *Global Change Biology*, 12, 441-449.

Nicholls R.J., Marinova N., Lowe J.A. *et al.*, 2011. Sea – Level rise and its possible impacts given a “Beyond 4 °C world” in the twenty first century. *Philosophical Transactions of the Royal Society*, A 369, 1-21.

Olivier J.-M., Dolédec S., Lamouroux N. *et al.*, 2013. RhôneEco (1998-2018). Suivi écologique de la restauration du Rhône ; bilan et proposition technique pour la période 2014-2018. Document de travail 15/05/2013.

Paillex A., Dolédec S., Castella E., Méricoux S. et Aldridge D.C., 2013. Functional diversity in large river floodplain: anticipating the response of native and alien macroinvertebrates to the restoration of hydrological connectivity. *Journal of Applied Ecology*, 50, 97-106.

Renard B., 2006. Détection et prise en compte d'éventuels impacts du changement climatique sur les extrêmes hydrologiques en France. Thèse INPG, Grenoble, 361 p.

Rochard E. et Lassale G., 2010. Conservation de la biodiversité et changement climatique, un nécessaire changement de paradigme – Le cas des poissons migrants amphihalins. *Sciences Eaux et Territoires*, 3, 104-109.

Stahl K. *et al.*, 2010. Streamflow trends in Europe: evidence from a dataset of near-natural catchments. *Hydrology and Earth System Sciences*, 14, 2367-2382. <http://hal.archives-ouvertes.fr/docs/00/55/00/96/PDF/LY2010-PUB00029973.pdf> (consulté le 23/11/2015).

Thiébaud G., 2007. Invasion success of exotic aquatic plants in their native and introduced ranges. A comparison between their invasiveness in North America and in France ». *Biological invasions*, 9 (1) : 1-12.

Tissot L. et Souchon Y., 2010. Synthèse des tolérances thermiques des principales espèces de poissons des rivières et fleuves de plaine de l'ouest européen. *Hydroécologie appliquée*, 17, 17-76.

21 Rapport du groupe Eau de l'Académie d'agriculture.

22 <http://www.statistiques.developpement-durable.gouv.fr/indicateurs-indices/f/1965/1115/evolution-qualite-physico-chimique-cours-deau.html>



(consulté le 23/11/2015).

23 Les espèces rhéophiles sont celles qui vivent dans les eaux courantes alors que les espèces limnophiles préfèrent les eaux stagnantes. Les espèces sténothermes ne vivent que dans des milieux présentant de faibles variations de température, alors que les eurythermes supportent des variations de grande amplitude.

24 Aqua 2030 : <http://www.developpement-durable.gouv.fr/Eau-milieux-aquatiques-et.html>  (consulté le 23/11/2015).

Conclusions

« La gestion de l'environnement repose finalement sur un fondement paradoxal : elle consiste pour l'homme à protéger la nature contre lui-même ou, plus précisément, à organiser la protection de la nature au cœur d'un mode d'organisation sociale qui mène à la dégrader »... Finalement, le fil conducteur de toute la réflexion peut se résumer dans la question suivante : « Si l'on considère la gestion de l'environnement comme un jeu de société, comment fonctionne celui-ci, que faut-il en apprendre pour devenir un bon joueur, ou un observateur sagace ? »

Laurent Mermet (1992)

Les poètes chantent depuis fort longtemps les lacs et les rivières, et l'image du torrent impétueux ou du fleuve majestueux occupe toujours les esprits ! Les citoyens, de manière plus pragmatique, ont su utiliser la force motrice du cours d'eau et ses ressources biologiques. Les ingénieurs se sont évertués à bâtir des ponts et des barrages résistant aux humeurs des fleuves, et les hydrologues à réunir les données nécessaires au dimensionnement des ouvrages. Quant aux écologues, il y a seulement quelques décennies qu'ils se sont intéressés à l'étude des fleuves : jusque-là, en effet, ils trouvaient ces systèmes bien trop complexes !

En réalité, les différentes disciplines concernées par l'étude des fleuves se sont longtemps ignorées. C'est avec beaucoup d'humour que le Canadien Hynes, dans un discours prononcé en 1972 devant la Société internationale de limnologie, rappelait que l'existence d'hydrologues, de pédologues et de forestiers fut une véritable découverte pour les hydrobiologistes^[25]. De fait, la compréhension du fonctionnement écologique des systèmes fluviaux a beaucoup progressé à l'initiative d'écologues qui s'étaient rendu compte que les cours d'eau sont des systèmes dynamiques dans lesquels le régime hydrologique est le moteur du fonctionnement. Ce dernier, combiné au cadre géomorphologique, va créer une grande diversité d'habitats aquatiques, chacun propice à l'installation de certaines espèces. L'écologie systémique des cours d'eau est donc une thématique très récente par rapport à d'autres domaines de l'écologie, mais elle a progressé à grands pas. Sans compter que les

cours d'eau ne sont pas seulement des objets naturels. Ils ont été investis par les sociétés humaines, à la fois comme support de vie et outil de production. Ces sociétés se sont organisées autour des usages de l'eau et des ressources aquatiques et se sont approprié l'objet au point d'en faire un véritable objet culturel. Ne pas tenir compte des relations éthiques, esthétiques et émotionnelles qui se sont instaurées entre les cours d'eau et les riverains, c'est occulter un élément essentiel en matière de restauration. Il n'y a donc pas une simple juxtaposition de systèmes écologiques et de systèmes sociaux, mais bien un ensemble interactif et co-évolutif, l'anthroposystème, qui devient lui-même un objet de recherche.

Cette démarche vers la multidisciplinarité n'est pas simple, et n'est d'ailleurs pas réellement acquise dans les structures académiques qui privilégient toujours (et peut-être de plus en plus...) la démarche réductionniste et disciplinaire, avec des spécialisations de plus en plus poussées créant, *de facto*, un cloisonnement. Elle est rendue plus difficile encore par la diversité des attentes de différents groupes sociaux, ainsi que par le flou des concepts à la mode en matière d'écologie et de gestion des milieux.

Des concepts théoriques peu opérationnels

On manie actuellement des termes – que certains érigent en concepts – qui ont parfois un intérêt pédagogique, mais qui sont le plus souvent mal définis. Si l'expression « bon fonctionnement d'un écosystème » renvoie à une représentation mentale de ce dernier, sa mise en application sur le terrain est beaucoup plus compliquée, car il n'y a pas un fonctionnement idéal standardisé auquel se référer. Il y a plusieurs types de fonctionnement possible d'un système fluvial au cours de l'année, avec des contrastes très marqués. En réalité, on devrait se poser la question du bon fonctionnement pour quoi ? Pour produire du poisson ? Ou pour évacuer les eaux de pluie ? Ce n'est pas tout à fait la même chose !

Beaucoup de termes utilisés actuellement, dont celui de biodiversité, surfent sur l'ambiguïté. Quand on parle de gain ou de perte de biodiversité, de quoi parle-t-on ? Des poissons ou des bactéries ? Ou des habitats ? Ou de populations génétiquement différenciées ? Ou de tout à la fois ? Généralement, on se garde bien de le préciser car le terme est utilisé de manière incantatoire et la diversité biologique est difficile à quantifier. Tout aménagement induit des changements, et il y a nécessairement des gains et des pertes ! La question est de savoir si, à nos yeux, ils sont jugés négatifs ou positifs... et par rapport à quoi ? Car les systèmes modifiés restent des systèmes écologiques fonctionnels. Avec la création du lac du Der, en Champagne, on a perdu des bocages mais on a gagné des zones humides favorables aux oiseaux. Pour les ornithologues, le bilan est positif. Pour d'autres, c'est un désastre ! Et qui a autorité pour en juger ?

On peut faire des remarques similaires concernant le « bon état écologique » de la DCE, pour les notions de « services écosystémiques » impossibles à qualifier et à quantifier, etc. Des termes imprécis, qu'il est difficile de traduire en termes opérationnels pour les gestionnaires, mais que des groupes sociaux se complaisent à utiliser, alors que les citoyens se demandent de quoi on cause !

Quels objectifs se fixer pour la restauration ?

C'est un peu le nœud du problème... Les discours sur l'environnement s'inscrivent souvent dans une démarche manichéenne qui a tendance à ne mettre en avant que les aspects négatifs des activités humaines sur l'environnement. On retrouve, dans l'imaginaire collectif, les bons et les méchants. Les méchants, ce sont les industriels et les agriculteurs, qui surexploitent les ressources naturelles et les polluent. Les bons, ce sont certaines associations de défense de l'environnement et certaines ONG de protection de la nature, qui pensent, à des degrés divers, qu'une belle nature, c'est une nature sans l'homme ! Cette caricature n'est

pas dénuée de fondement mais manque de subtilité. Toujours mettre en avant les aspects négatifs des activités humaines, c'est oublier que notre environnement s'est construit, depuis des millénaires, au travers des usages des systèmes écologiques. Or quand les usages disparaissent, il n'y a plus d'entretien, et les milieux dits « naturels » n'évoluent pas nécessairement dans le sens souhaité. Si l'action de l'homme était si pernicieuse, trouverait-on que la Camargue ou les lacs réservoirs de la forêt d'Orient sont des hauts lieux de naturalité ? Et pourquoi sommes-nous si attachés à nos paysages anthropisés ? Le mythe d'une nature vierge ou sauvage entretenu par des mouvements conservationnistes correspond à une nature rêvée qui n'est pas nécessairement partagée par tous. À chacun ses croyances, mais le prosélytisme qui consiste à imposer cette vision dévalorisante de l'homme est très inquiétant.

Retrouver de l'hétérogénéité et de la variabilité ?

Les aménagements réalisés sur les cours d'eau ont répondu à deux grandes préoccupations :

- les aménager de manière à pouvoir exploiter au mieux leurs potentialités. Par exemple, construire un barrage sur un cours d'eau pour utiliser sa force motrice, ou pour accroître la disponibilité en eau ;
- minimiser les risques vis-à-vis des personnes et des biens. Par exemple, construire des digues pour se protéger des crues, ou drainer les zones humides pour éradiquer la malaria.

Dans ce contexte, les efforts des gestionnaires ont beaucoup porté sur la réduction de la variabilité, car on cherchait à stabiliser les moyens de production et à éviter les excès. Chemin faisant, pour le transport et pour éviter les crues, on a chenalisé et corseté les rivières, réduisant ainsi l'hétérogénéité.

Tous ces usages ont durablement marqué la physionomie des vallées et modifié le régime et le débit des rivières ainsi que leur morphologie et, bien entendu, les peuplements. Depuis quelques

décennies, de nouveaux usages des cours d'eau se font jour, qui viennent se surimposer aux précédents. Ils sont liés au mode de vie de plus en plus urbain, et à un nouveau rapport à la nature qui s'est développé dans nos pays. On re-nature ou re-paysage pour faire des cours d'eau des lieux de loisirs et de détente. Chemin faisant, on recrée un peu d'hétérogénéité des habitats, mais dans des limites imposées par la disponibilité du foncier. Difficile de trouver assez de terres pour reconstituer des zones inondables... Quant à la variabilité, elle nous vient surtout des aléas climatiques car on ne peut se permettre d'exposer volontairement les populations à des crues dévastatrices !

Penser les trajectoires d'écosystèmes et le futur

La notion de trajectoire d'écosystème remet en perspective nombre de principes de l'écologie théorique, et notamment le sacro-saint principe de l'équilibre (fut-il dynamique) et de la stabilité des systèmes écologiques. On ne peut plus se référer à de mythiques états passés pour mettre en place des actions de restauration. Au contraire, tout projet de restauration doit s'inscrire dans le futur. Le fleuve sauvage d'autrefois n'est pas nécessairement celle que les riverains, soumis aux inondations, aimeraient retrouver.

La perspective du réchauffement climatique et les aménagements des fleuves qui se poursuivent (autrement dit, le changement global) amènent en effet à réfléchir sur les modes de gestion et de restauration des systèmes aquatiques dans un monde qui se transforme rapidement. C'est la quatrième dimension de l'hydrosystème, la dimension temporelle, qui nécessite un effort tout particulier de réflexion multidisciplinaire pour essayer d'anticiper les trajectoires futures. On ne peut évidemment pas se baser seulement sur le milieu physique. Les espèces bougent, apparaissent ou disparaissent. Les usages des fleuves évoluent eux aussi avec le temps. La multiplicité des paramètres en jeu et les parts d'aléas associées à chacun d'eux rendent la tâche ardue. Quels outils allons-nous utiliser pour cela ? Certains ne jurent que par la

modélisation. Mais cette démarche a ses limites quand les phénomènes ne sont pas de nature mécaniste, comme c'est le cas pour les systèmes écologiques. Alors il faut faire des scénarios, c'est-à-dire se raconter des histoires plausibles, en anticipant, avec tous les risques et incertitudes que cela comporte, aussi bien concernant l'avenir de la politique agricole commune que le possible accroissement des événements climatiques extrêmes.

Cet exercice de prospective est difficile, l'écologie prenant, en outre, conscience que la quête d'un ordre de la nature qui fut longtemps son credo devient un objectif de plus en plus difficile à atteindre. La remise en cause du paradigme déterministe n'est pas une mince affaire, car nos modèles de gestion sont essentiellement basés sur les notions d'équilibre. Mais c'est bien l'enjeu de la recherche que de creuser de nouvelles pistes plutôt que de rester cantonnée dans les tranchées du savoir académique.

Au-delà du discours théorique sur les fonctions et services écosystémiques, il existe également beaucoup d'incertitudes sur les résultats attendus concrètement des opérations de restauration. Une méta-analyse (Moreno-Mateos *et al.*, 2012) portant sur 621 projets de restauration ou création de zones humides dans le monde montre que, dans de nombreux cas, la récupération est lente, voire incomplète. Il faut laisser du temps aux systèmes réhabilités et, même dans ces conditions, on ne maîtrise pas la trajectoire future des écosystèmes restaurés, qui peut dépendre de facteurs de contrôle non maîtrisés, notamment les facteurs sociétaux et climatiques (de Billy *et al.*, 2015).

Quelles rivières voulons-nous ?

Quelles rivières voulons-nous ? pour parodier le colloque « Quelles natures voulons-nous ? » qui s'était tenu à Lille en 2000... (Lévêque et Van der Leeuw, 2000). Cette question fait appel aux principes de gouvernance et de trajectoire temporelle des anthroposystèmes. Quel usage voulons-nous faire de ces milieux ? Quelles

perspectives d'évolution peut-on proposer concrètement aux gestionnaires et aux collectivités locales au-delà des discours incantatoires sur les services écosystémiques et sur la biodiversité ? Dans quel but et pour qui restaurer les cours d'eau ? Autant de questions qui mêlent étroitement les approches écologiques, économiques, politiques, et émotionnelles.

Dans ce contexte, ce sont surtout les voix des mouvements militants qui se font entendre, relayés par les politiques. Mais les attentes de la catégorie très diversifiée des citoyens-usagers sont souvent fort éloignées des projets qui lui sont présentés et auxquels on lui demande d'adhérer. Le citoyen est concerné par un environnement de proximité, sécurisé car il craint les débordements, mais esthétiquement attrayant et dans lequel il puisse pratiquer des activités ludiques. Ce n'est pas tout à fait la définition d'une nature vierge... Pourtant, la gouvernance, qui est au cœur de la Directive européenne sur l'eau, se réduit souvent à des enquêtes demandées aux sciences sociales sur le niveau d'acceptabilité par les citoyens de projets décidés dans d'autres sphères. Si beaucoup pensent qu'il faut rechercher des compromis, et si les collègues des sciences sociales nous proposent différentes approches, il n'en reste pas moins que les exemples récents de Notre-Dame-des-Landes et de Sivens nous rappellent que le dialogue a des limites !

Pour en savoir plus...

De Billy V. *et al.*, 2015. Compenser la destruction de zones humides : retours d'expériences sur les méthodes et réflexions inspirées par le projet d'aéroport de Notre-Dame-des-Landes (France). *Natures, sciences, sociétés*, 23, 27-41.

Lévêque C. et Van der Leeuw S. (eds), 2003. Quelles natures voulons-nous ? Pour une approche socio-économique du champ de l'environnement. Elsevier, coll. Environnement.

Mermet L., 1992. Stratégies pour la gestion de l'environnement. La nature comme jeu de société ? L'Harmattan.

Mermet L. (dir.), 2005. Étudier des écologies futures. Un chantier ouvert pour les recherches prospectives environnementales. P.I.E.-Peter Lang, coll. Écopolis.

Moreno-Mateos D., Power M.E., Comín F.A., Yockteng R., 2012. Structural and functional loss in restored wetland ecosystems. *PLoS Biol.*, 10 (1).

²⁵On utilise aussi le terme hydrobiologiste pour qualifier les écologues qui travaillent sur des systèmes aquatiques continentaux.